建筑结构设计系列手册

钢结构设计手册（上册）

GANG JIE GOU SHE JI SHOU CE

（第三版）

■ 《钢结构设计手册》编辑委员会

中国建筑工业出版社

建筑结构设计系列手册

钢结构设计手册(上册)

(第三版)

《钢结构设计手册》编辑委员会

中国建筑工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

钢结构设计手册(上册)/《钢结构设计手册》编辑委员会. —3版. —北京：中国建筑工业出版社，2003
ISBN 7-112-06110-5

Ⅰ.钢… Ⅱ.钢… Ⅲ.钢结构-结构设计-技术手册 Ⅳ.TU391.04-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2003）第100938号

本手册基于近年来的工程设计经验和科研成果，根据新颁布的《钢结构设计规范》（GB50017—2003）以及其他相关国家规范和标准进行编写，内容包括：钢结构设计基本规定与计算，单层房屋钢结构，涉及门式刚架、排架、屋架、网架等设计，以及设计例题、构件选用表、构件承载力计算表与有关计算用图表资料。高层钢结构将编入下册出版。可供建筑结构设计、施工、教学人员使用和参考。

* * *

责任编辑：黎 钟
责任设计：崔兰萍
责任校对：刘玉英

建筑结构设计系列手册
钢结构设计手册（上册）
（第三版）
《钢结构设计手册》编辑委员会

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）
新 华 书 店 经 销
北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：58 字数：1446千字
2004年1月第三版 2004年4月第十八次印刷
印数：225071—233070册 定价：78.00元

ISBN 7-112-06110-5
TU·5375（12123）

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题，可寄本社退换
（邮政编码 100037）
本社网址：http://www.china-abp.com.cn
网上书店：http://www.china-building.com.cn

《钢结构设计手册》编辑委员会

主　任　汪一骏

副主任　顾泰昌　冯　东　周廷垣

委　员　魏明钟　沈祖炎　刘纯康　陈明辉

张志平　罗永丹　王步伟　樊　志

沈祥发　郭春颉　刘树岭

前　言

《钢结构设计规范》（GB50017—2003）已经颁布，本手册是中国建筑工业出版社为设计应用而组织编写的钢结构设计手册第三版，本版除在原钢结构设计手册（第二版）的基础上按新修订的《钢结构设计规范》（GB50017—2003）修编外，还增加了常用的冷弯薄壁型钢构件、门式刚架及主要构件的抗震验算。新增加的多高层房屋钢结构将编入下册中。

随着电子计算机的普及、应用，以及为了加快设计进度，新版手册中删去了原来大量的力学计算公式和计算步骤，并列出若干常用构件的选用表。为增加设计人员的整体概念，某些设计实例中还附有完整的施工详图。

本书共分4篇：

第1篇为钢结构基本构件设计，其中包括钢结构材料选用、设计基本规定、基本构件的计算和主要构造、连接计算与构造。

第2篇为单层房屋钢结构设计，其中包括房屋的组成、屋面及屋盖结构、吊车梁、门式刚架、排架柱及柱间支撑、墙架、工作平台及制作、运输、安装和防锈。

第3篇为设计计算图表，其中包括轴心受压构件截面分类、稳定系数 φ、柱的计算长度系数 μ、钢材截面规格、组合截面特性、紧固件规格及重量、构件及连接的承载力设计值、横梁的固端弯矩及挠度，以及等截面门式刚架的内力计算公式。

第4篇为有关的标准及代号、材料性能、型钢的规线距离和连接尺寸及梁式、桥式吊车技术资料。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和不妥之处，希望广大读者提出批评和指正。

编写人：第1篇　第1～4章　汪一骏　姜兰潮　冯　东

第2篇　第5章　刘纯康　陈明辉　第6章　汪一骏　姜忆南　郭春颉　第7章　冯　东　纪福宏　张孝荣　第8章　陈明辉　刘纯康　冯　东　第9章　张志平　汪一骏　第10章　刘纯康　第11章　汪一骏　胡祖成　第12章　汪一骏　李宏林　第13章　汪一骏　王步伟　柴　昶

第3篇　雷全立　纪福宏　汪一骏　郭惠琴

第4篇　顾泰昌　冯　东　姜兰潮

主审：汪一骏

主要编写单位：

1. 中国建筑标准设计研究院（原中国建筑标准设计研究所）
2. 北京交通大学（原北方交通大学）　北京交大科技发展中心
3. 中元国际工程设计研究院（原机械工业设计研究院）
4. 徐州安美固建筑空间结构有限公司
5. 北京市北泡轻钢建材有限公司
6. 北京太空板业股份有限公司
7. 河南省长葛市通用机械厂

目　录

第1篇　钢结构基本构件设计

1　总则和材料 …… 2
1.0　总则 …… 2
1.1　钢材分类和性能 …… 2
1.2　选材变通方法 …… 7
2　设计基本规定 …… 9
2.1　设计原则 …… 9
2.2　荷载 …… 11
2.3　设计指标 …… 12
2.4　变形规定 …… 16
2.5　构造 …… 18
3　基本构件计算 …… 21
3.1　受弯构件 …… 21
3.2　轴心受力构件和拉弯、压弯构件 …… 33
3.3　疲劳计算 …… 46
3.4　塑性设计 …… 50
4　连接 …… 52
4.1　焊接 …… 52
4.2　普通螺栓和高强度螺栓连接 …… 63
4.3　普通螺栓和高强度螺栓群的连接计算和构造要求 …… 65
4.4　拼接连接 …… 68
4.5　连接设计实例 …… 70

第2第　单层房屋钢结构设计

5　单层房屋钢结构的组成 …… 80
5.1　概述和受力体系 …… 80
5.2　排架荷载 …… 85
6　单层房屋的屋面 …… 88
6.1　国内曾采用过的几种屋面材料 …… 88
6.2　压型钢板和夹芯板的板型及檩距 …… 90

6.3 发泡水泥复合板（太空板） …… 95
6.4 各种屋面设计参数 …… 96
6.5 板的连接 …… 97
6.6 建筑构造 …… 101
6.7 压型钢板的计算 …… 101
6.8 压型钢板的构造 …… 103
6.9 压型钢板的连接构造与计算 …… 104
7 屋盖结构 …… 108
7.1 檩条 …… 108
7.2 屋架 …… 138
7.3 托架和托梁 …… 243
7.4 天窗架 …… 260
7.5 网架 …… 276
7.6 屋盖支撑 …… 293
8 吊车梁 …… 311
8.1 概述 …… 311
8.2 吊车梁系统的组成和类型 …… 311
8.3 设计的基本要求 …… 313
8.4 实腹式焊接吊车梁 …… 318
8.5 实腹式铆接吊车梁 …… 335
8.6 吊车桁架 …… 341
8.7 箱形焊接吊车梁 …… 353
8.8 壁行吊车梁和悬挂式吊车梁 …… 358
8.9 制动结构、辅助桁架及支撑 …… 367
8.10 吊车梁与柱的连接计算及构造 …… 376
8.11 吊车轨道和车挡 …… 379
8.12 吊车梁设计实例 …… 386
9 门式刚架 …… 413
9.1 刚架特点及适用范围 …… 413
9.2 结构形式及有关要求 …… 414
9.3 内力和侧移计算 …… 415
9.4 构件截面设计 …… 417
9.5 节点设计 …… 423
9.6 刚架设计实例 …… 426
9.7 刚架设计系列 …… 447
9.8 有关刚架设计中的若干问题 …… 455
10 排架柱 …… 470
10.1 设计的一般要求 …… 470
10.2 柱的计算及构造 …… 475

10.3 柱间支撑 …… 506
10.4 厂房纵向刚度和温度应力计算 …… 514
10.5 柱及柱间支撑的抗震构造措施 …… 518
10.6 柱及柱间支撑实例 …… 520
11 墙架 …… 544
11.1 一般说明 …… 544
11.2 墙架结构的布置 …… 545
11.3 墙架构件的截面计算 …… 550
11.4 墙架的连接节点 …… 554
11.5 墙架构件的计算示例 …… 560
11.6 墙架构件选用 …… 570
12 工作平台结构 …… 575
12.1 一般说明 …… 575
12.2 平台结构构件的形式和计算 …… 578
12.3 平台结构的连接和构造 …… 589
12.4 平台梁的构造及其计算特点 …… 590
12.5 平台柱的构造和梁柱的连接 …… 593
12.6 平台柱的柱脚及柱间支撑计算 …… 595
12.7 栏杆和钢梯 …… 596
13 制作、运输、安装、防锈和防火 …… 600
13.1 概要 …… 600
13.2 钢结构的制作 …… 600
13.3 钢结构的运输和安装 …… 615
13.4 防锈与防火 …… 618

第3篇 钢结构设计计算图表

14 稳定系数 …… 630
(1) 轴心受压构件的截面分类 …… 630
(2) 轴心受压构件的稳定系数 …… 632
15 柱的计算长度系数 …… 642
(1) 无侧移框架等截面柱的计算长度系数 μ …… 642
(2) 有侧移框架等截面柱的计算长度系数 μ …… 646
(3) 柱上端为自由的单阶柱下段的计算长度系数 μ …… 650
(4) 柱上墙可移动但不转动的单阶柱下段的计算长度系数 μ …… 652
(5) 柱上墙为自由的双阶柱下段的计算长度系数 μ …… 654
(6) 柱上墙可移动但不转动的双阶柱下段的计算长度系数 μ …… 660
16 钢材的规格及截面特性 …… 666
(1) 型钢的规格及截面特性 …… 666

(2) 钢板的规格及尺寸 …… 695
(3) 冷弯型钢的规格、尺寸及截面特性 …… 698
(4) 两个等边及不等边角钢组合时连接填板的最大间距 …… 710
17 组合截面特性 …… 712
(1) 两个热轧等边角钢的组合截面特性（按 GB/T 9787—1988 计算） …… 712
(2) 两个热轧不等边角钢（两短边相连）的组合截面特性
（按 GB/T 9788—1988 计算） …… 716
(3) 两个热轧不等边角钢（两长边相连）的组合截面特性
（按 GB/T 9788—1988 计算） …… 720
(4) 两个热轧普通槽钢的组合截面特性（按 GB/T 707—1988 计算） …… 724
(5) 两个热轧轻型槽钢的组合截面特性（按 YB164—63 计算） …… 726
(6) 焊接工字形钢的截面特性 …… 728
(7) 焊接槽形钢的截面特性 …… 739
18 紧固件的规格、尺寸及重量 …… 746
(1) 半圆头铆钉（粗制）的规格（按 GB/T 863.1—1986） …… 746
(2) 沉头铆钉（粗制）的规格（按 GB/T 865—1986） …… 747
(3) 半沉头铆钉（粗制）的规格（按 GB/T 866—1986） …… 749
(4) 普通 C 级六角头螺栓的规格（按 GB/T 5780—2000） …… 751
(5) 普通 C 级Ⅰ型六角螺母的规格（按 GB/T 41—2000） …… 760
(6) 普通 C 级平垫圈的规格（按 GB/T 95—1985） …… 761
(7) 普通 A 级、B 级六角头螺栓的规格（按 GB/T 5782—2000） …… 762
(8) 普通 A 级、B 级Ⅰ型六角螺母的规格（按 GB/T 6170—2000） …… 770
(9) 普通 A 级平垫圈、A 级平垫圈（倒角型）的规格
（按 GB/T 97.1—1985、GB/T 97.2—1985） …… 771
(10) 钢结构用高强度大六角头螺栓的规格（按 GB/T 1228—1991） …… 773
(11) 钢结构用高强度大六角螺母的规格（按 GB/T 1229—1991） …… 776
(12) 钢结构用高强度垫圈的规格（按 GB/T 1230—1991） …… 777
(13) 钢结构用扭剪型高强度螺栓的规格（按 GB/T 3632—1995） …… 778
(14) 钢结构用扭剪型高强度螺母的规格（按 GB/T 3632—1995） …… 780
(15) 钢结构用扭剪型高强度垫圈的规格（按 GB/T 3632—1995） …… 781
(16) 标准型弹簧垫圈的规格（按 GB/T 93—1987） …… 782
(17) 轻型弹簧垫圈的规格（按 GB/T 859—1987） …… 782
(18) 工字钢用方斜垫圈的规格 …… 783
(19) 槽钢用方斜垫圈的规格 …… 784
19 构件的承载力设计值、承载力矩设计值 …… 785
(1) 受弯构件的承载力矩设计值 …… 785
(2) 轴心受压构件的承载力设计值（稳定） …… 797
20 连接的承载力设计值 …… 848
(1) 焊接连接的承载力设计值 …… 848

(2) 普通螺栓的承载力设计值 …… 854
(3) 高强度螺栓的承载力设计值 …… 855
21 横梁的固端弯矩 …… 858
(1) 一端固定一端铰支梁的固端弯矩计算公式 …… 858
(2) 两端固定梁的固端弯矩计算公式 …… 860
22 单跨等截面门式刚架弯矩剪力计算公式 …… 862
(1) 双坡门式铰接刚架计算公式 …… 862
(2) 双坡门式刚接刚架计算公式 …… 865

第4篇 有关标准 相关内容和技术资料

23 标准名称 …… 868
(1) 材料的标准 …… 868
(2) 型钢、钢板的标准 …… 868
(3) 紧固件的标准 …… 869
(4) 焊接接头形式与尺寸的标准 …… 870
(5) 涂料的标准 …… 870
24 材料的性能 …… 871
(1) 材料的化学成分和力学性能 …… 871
(2) 一般工程用铸造碳钢的化学成分和力学性能 …… 873
(3) 普通碳素钢、热轧圆钢的化学成分和力学性能 …… 874
(4) 高强度螺栓、螺母、垫圈用原钢材的化学成分和力学性能 …… 875
(5) 高强度螺栓、螺母、垫圈的性能等级及其力学性能 …… 883
(6) 碳钢焊条的药皮类型和焊接电源 …… 884
(7) 碳素焊条熔敷金属的化学成分和力学性能 …… 885
(8) 低合金焊条熔敷金属的化学成分和力学性能 …… 887
25 型钢的规线距离和连接尺寸 …… 894
(1) 热轧角钢的规线距离 …… 894
(2) 热轧工字钢的规线距离 …… 895
(3) 热轧槽钢的规线距离 …… 896
(4) 热轧普通工字钢的连接尺寸 …… 897
(5) 热轧轻型工字钢的连接尺寸 …… 898
(6) 热轧普通槽钢的连接尺寸 …… 899
(7) 热轧轻型槽钢的连接尺寸 …… 900
26 吊车技术资料 …… 901
(1) 大连重工·起重集团有限公司 DQQD 型 5～50/10t 吊钩起重机技术规格 2003 年 …… 901
(2) 大连重工·起重集团有限公司 DSQD 型 5～125t 吊钩起重机技术规格 2003 年 …… 904

(3) 大连重工·起重集团有限公司 75/20～125/30t 吊钩起重机技术规格
2003 年 …… 908
(4) 大连重工·起重集团有限公司 150/30～400/80t 吊钩起重机技术规格
2003 年 …… 910
(5) 北京起重运输机械研究所 5～50/10t 吊钩起重机技术规格 2003 年 …… 911
(6) 北京起重运输机械研究所 1～10t 吊钩 LDB 型电动单梁起重机
技术规格 …… 914
参考文献 …… 916

第1篇　钢结构基本构件设计

- 1　总则和材料
- 2　设计基本规定
- 3　基本构件计算
- 4　连接

1 总则和材料

1.0 总　　则

1.0.1 为学习理解和应用《钢结构设计规范》GB50017—2003，特编制本设计手册。

1.0.2 本手册主要适用于工业与民用房屋和一般构筑物的钢结构设计，也包括部分由冷弯成型钢材制作的构件及其连接等；对于冷弯成型的钢材制作的构件等，在具体设计时应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018—2002 的规定。

1.0.3 本手册的设计原则是根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017—2003 制订的。取用的荷载及其组合值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009—2001 的规定；在地震区的建筑物和构筑物，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 的规定。

1.0.4 设计钢结构时，应从工程实际情况出发，合理选择材料、结构方案和构造措施，满足结构构件在运输、安装和使用过程中的强度、稳定性和刚度的要求，符合防火、防腐蚀的要求，并宜优先采用通用的和标准化的结构和构件，减少制作、安装工作量。

1.0.5 钢结构设计文件中，应注明建筑结构的设计使用年限、采用的钢材牌号（包括质量等级、脱氧方法、供货条件等）、连接材料的型号（或钢号）和对钢材所要求的力学性能、化学成分及其他的附加保证项目。此外，还应注明所要求的焊缝形式、焊缝质量等级（焊缝质量等级的检验标准应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205—2001 的规定）、端面刨平顶紧部位以及对施工的其他要求。

1.0.6 对有特殊设计要求和在特殊情况下的钢结构设计，尚应符合现行有关国家标准的要求。

1.1 钢材分类和性能

1.1.1 结构材料

1. 承重钢结构的材料宜采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—1988 中的 Q235 钢和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591—1994 中的 Q345、Q390 和 Q420 钢。当采用其他牌号的钢材时，尚应符合相应有关标准的规定和要求。

2. 在建筑结构设计中对结构用钢材可按下述方法分类：

（1）按冶炼方法（炉种）分为平炉钢和电炉钢、氧气转炉钢或空气转炉钢。承重结构钢一般采用平炉或氧气转炉钢。

（2）按炼钢脱氧程度分为沸腾钢（F）、半镇静钢（b）、镇静钢（Z）及特殊镇静钢（TZ）。

（3）钢的牌号按钢的屈服点数值命名，Q235 钢，其质量等级分为 A、B、C、D 四级，

这四个等级与钢的化学成分、力学性能及冲击试验性能有关。

碳素结构钢的牌号由代表屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法四个部分按顺序组成。

例如，Q235-B·F，其符号含义如下：

Q——钢材屈服强度；

235——屈服点（不小于）235N/mm^2；

A、B、C、D——质量等级，从次到优顺序排列；

F、b、Z、TZ——沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢，在牌号表示中“Z”与“TZ”符号可忽略。

在碳素结构钢中，钢号越大，含碳量越高，强度也随之增高，但塑性和韧性降低。在承重结构钢中经常采用掺加合金元素的低合金钢。其强度高于碳素结构钢，强度的增高不是靠增加含碳量，而是靠加入合金元素的程度，所以，其韧性并不降低。在低合金钢中Q345钢（16Mn）的综合性能较好，在我国已有几十年的工程实践经验。

3. 钢材的力学性能和化学成分

（1）力学性能

1）抗拉强度（f_u）

抗拉强度是衡量钢材经过其本身所能产生足够变形后的抵抗能力。它不仅是反映钢材质量的重要指标，而且与钢材的疲劳强度有密切关系。由抗拉强度变化范围的数值，可以反映出钢材内部组织的优劣。

2）伸长率（δ）

伸长率是衡量钢材塑性性能的指标。钢材的塑性实际上是当结构经受其本身所产生的足够变形时，抵抗断裂的能力。因此，承重结构钢无论在静力荷载或动力荷载作用下，以及在加工制造过程中，除要求具有一定的强度外，还要求有足够的伸长率。

3）屈服强度（f_y）

屈服点是衡量结构的承载能力和确定基本强度设计值的重要指标。碳素结构钢和低合金钢在应力达到屈服点后，应变急剧增长，使结构的实际变形突然增加到不能再继续使用的程度。所以，钢材所采用的强度设计值一般都以屈服点除以适当的抗力分项系数来确定。

4）冷弯性能

冷弯是衡量材料性能的综合指标，也是塑性指标之一。通过冷弯试验不仅可以检验钢材颗粒组织、结晶情况和非金属夹杂物的分布等缺陷。在一定程度上也是鉴定焊接性能的一个指标。结构在加工制造和安装过程中进行冷加工时，尤其对焊接结构焊后变形的调直，都需要钢材具有较好的冷弯性能。用于承重结构的薄壁型钢的热轧带钢或钢板也应有冷弯性能保证。

5）冲击韧性

冲击韧性是衡量抵抗脆性破坏的一个指标。因此，直接承受动力荷载以及重要的受拉或受弯焊接结构，为了防止钢材的脆性破坏，应具有常温冲击韧性的保证，在某些低温情况下尚应具有负温冲击韧性的保证。

（2）化学成分

建筑结构用钢除了要保证含碳量外，硫、磷含量也不能超过国家标准的规定。因为这两种有害元素的存在将使钢材的焊接性能变差，且降低钢材的冲击韧性和塑性，降低钢材的疲劳强度和抗腐蚀性。

建筑结构用钢的力学性能和化学成分见表1-1、表1-2。

钢材的力学性能　　表1-1

标准代号	钢材牌号	厚度（mm）	一般机械性能				V型冲击试验		
			屈服点 f_y（N/mm²）	抗拉强度 f_u（N/mm²）	伸长率 δ_5（%）	180°冷弯试验 d=弯心直径 B=试样宽度 a=试样厚度	质量等级	温度	冲击功（纵向）J不小于
GB/T 700—1988	Q235	≤16	235	375～500	26	$B=2a$，$d=1.5a$（试样方向为横向）$d=a$（试样方向为纵向）	B	20	27
		17～40	225		25		C	0	
		41～60	215		24		D	-20	
GB/T 1591—1994	Q345	≤16	345	470～630	21（22）	$d=2a$	B	20	34
		17～35	325			$d=3a$	C	0	
		36～50	295			$d=3a$	D	-20	
							E	-40	27
	Q390	≤16	390	490～650	19（20）	$d=2a$	B	20	34
		17～35	370			$d=3a$	C	0	
		36～50	350			$d=3a$	D	-20	
							E	-40	27
	Q420	≤16	420	520～680	18（19）	$d=2a$	B	20	34
		17～35	400			$d=3a$	C	0	
		36～50	380			$d=3a$	D	-20	
							E	-40	27

注：1. 质量等级为A级不要求V型冲击试验。
2. δ_5括号内数值适用于C～E级。

钢材的化学成分　　表1-2

标准代号	钢材牌号		化学成分（%）				
			C	S	P	Si	Mn
				≤		≤	
GB/T700—1988	Q235	A级	0.14～0.22	0.050	0.045	0.30	0.30～0.65　注.1
		B级	0.12～0.20	0.045			0.30～0.70　注.1
		C级	≤0.18	0.040	0.040		0.35～0.80
		D级	≤0.17	0.035	0.035		
GB/T1591—1994	Q345	A级	0.20（0.18）		0.045	0.55	1.00～1.60
		B级			0.040		
		C级			0.035		
		D级			0.030		
		E级			0.025		

续表

标准代号	钢材牌号		化学成分（%）				
			C	S	P	Si	Mn
				≤		≤	
GB/T1591—1994	Q390	A级	0.20	0.045		0.55	1.00～1.60
		B级		0.040			
		C级		0.035			
		D级		0.030			
		E级		0.025			
	Q420	A级	0.20	0.045		0.55	1.00～1.70
		B级		0.040			
		C级		0.035			
		D级		0.030			

注：1.Q235A、B级沸腾钢锰含量上限为0.60%。

2.括号内含碳量C仅适用于D、E级。

4.建筑结构用钢铸件采用的材质应符合国家标准《一般工程用铸造碳素钢》GB/T/11352—1989的规定，其机械性能和化学成分见表24-6、表24-7。

5.检验项目

（1）所有承重结构的钢材均应具有抗拉强度、伸长率、屈服点和硫、磷极限含量的合格保证，对焊接结构尚应具有含碳量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构的钢材还应具有冷弯试验的合格保证。

（2）对于需要验算疲劳的焊接结构的钢材，应具有常温冲击韧性的合格保证（B级）。当结构工作温度等于或低于0℃但高于－20℃时，对Q235钢和Q345钢应具有0℃冲击韧性的合格保证（C级）；对Q390钢和Q420钢应具有－20℃冲击韧性的合格保证（D级）。当结构工作温度等于或低于－20℃时，对Q235钢和Q345钢应具有－20℃冲击韧性的合格保证（D级）；对Q390钢和Q420钢应具有－40℃冲击韧性的合格保证（E级）。

（3）对于需要验算疲劳的非焊接结构的钢材亦应具有常温冲击韧性的合格保证（B级）。当结构工作温度等于或低于－20℃时，对Q235钢和Q345钢应具有0℃冲击韧性的合格保证（C级）；对Q390钢和Q420钢应具有－20℃冲击韧性的合格保证（D级）。

注：当吊车起重量等于或大于50t的中级工作制（A4～A5）吊车梁，对钢材冲击韧性的要求应与需要验算疲劳的构件相同。

6.选用

（1）为保证承重结构的承载能力和防止在一定条件下出现脆性破坏，应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方法、钢材厚度和工作环境等因素综合考虑，选用合适的钢材牌号和材性。当结构构件的截面是按强度控制并有条件时，宜采用Q345钢（或Q390、Q420钢）。Q345钢和Q235钢相比，屈服强度提高45%左右，故采用Q345钢可比Q235钢节约30%左右。

（2）下列情况的承重结构和构件不宜采用Q235沸腾钢：

1）焊接结构

A. 直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构；

B. 工作温度低于 -20℃时直接承受动力荷载或振动荷载但可不验算疲劳的结构，以及承受静力荷载的受弯及受拉的重要承重结构；

C. 当工作温度等于或低于 -30℃的所有承重结构。

2）非焊接结构

工作温度等于或低于 -20℃的直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构。

（3）当焊接承重结构为防止钢材的层状撕裂而采用 Z 向钢时，其材质应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的规定。

（4）对处于外露环境，且对大气腐蚀有特殊要求的或在腐蚀性气态和固态介质作用下的承重结构，宜采用耐候钢，其质量要求应符合现行国家标准《焊接结构用耐候钢》GB/T 4172 的规定。

1.1.2　连接材料

1. 焊接

（1）材质

钢结构的焊接材料应与被连接构件所采用的钢材料质相适应。将两种不同强度的钢材相连接时，可采用与低强度钢材相适应的连接材料。对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构，宜采用低氢型焊条。

1）手工电弧焊应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T5117—1995 或《低合金钢焊条》GB/T5118—1995 规定的焊条，为使经济合理，选择的焊条型号应与构件钢材的强度相适应。选用时可按下列要求确定：

A. 对 Q235 钢宜采用 E43 型焊条；

B. 对 Q345 钢宜采用 E50 型焊条。

2）自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂应与主体金属强度相适应，并应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝和焊剂》的规定。

（2）选用

焊接连接是目前钢结构最主要的连接方法，它具有不削弱杆件截面、构造简单和加工方便等优点。一般钢结构中主要采用电弧焊。电弧焊是利用电弧热熔化焊件及焊条（或焊丝）以形成焊缝。目前应用的电弧焊方法有：手工焊、自动焊和半自动焊。在轻型钢结构中，由于焊件薄，焊缝少，故多数采用手工焊。手工焊施焊灵活，易于在不同位置施焊，但焊缝质量低于自动焊。

2. 螺栓

（1）材质

1）普通螺栓可采用符合现行国家标准《碳素结构钢》。规定的 Q235-A 级钢制或，并应符合现行国家标准《六角头螺栓—C 级》GB/T 5780—2000 和《六角头螺栓—A 级和 B 级》GB/T 5782—2000 的规定。

2）高强度螺栓可采用 45 号钢、40Cr、40B 或 20MnTiB 钢制作并应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈与技术条件》GB/T1228—1991 ~ GB/T 1231—1991 或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T3632—1995 ~ GB/T3633—1995 的规定。

3）圆柱头焊钉（栓钉）连接件的材料应符合现行国家标准《圆柱头焊钉》GB/T 10433—1989 的规定。

4）铆钉应采用现行国家标准《标准件用碳素钢热轧圆钢》GB/T715 中规定的 BL2 或 BL3 号钢制成。

5）锚栓可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—1988 中规定的 Q235 钢或《低合金高强度结构钢》GB/T1591—1994 中规定的 Q345 钢制成。

（2）选用

1）普通螺栓连接主要用在结构的安装连接以及可拆装的结构中。螺栓连接的优点是拆装便利，安装时不需要特殊设备，操作较简便。但由于普通螺栓连接传递剪力较差，而高强度螺栓连接在高空施工中要求又较高，因而轻型钢屋架与支撑连接，一般采用普通螺栓 C 级，受力较大时可用螺栓定位、安装焊缝受力的连接方法。

2）高强度螺栓连接除能承受较大的拉力外，尚能籍其连接处构件接触面的摩擦可靠地承受剪力。故在轻型门式刚架的梁柱的连接节点以及螺栓球网架的节点连接中广泛应用。

3）锚栓主要应用于屋架与混凝土柱顶的连接及门式刚架柱脚与基础的连接，锚栓可根据其受力情况选用不同牌号的钢材制成。

1.2 选 材 变 通 方 法

1.2.1 在实际应用中，当所供应的钢材不能完全满足设计要求时，可按下述 1.2.2 条～1.2.4 条的变通方法处理。

1.2.2 钢材的化学成分容许按表 1-3 与表 1-2 规定的标准有一定的偏差。

1.2.3 钢材机械性能所需的保证项目仅有一项不合格者，可按以下原则处理：

1. 抗拉强度比表 1-1 规定的下限值低 5% 以内时容许使用，当冷弯合格时，抗拉强度之上限值可以不限。

钢材化学成分容许偏差 **表 1-3**

元 素	容许偏差（%）	
	Q235	Q345、Q390、Q420
C	+0.03 −0.02	±0.02
Si		±0.05
Mn	+0.05 −0.03	±0.10
S	+0.005	+0.005
P		

注：Q235 沸腾钢钢材的化学成分偏差不作保证。

2. 伸长率比表 1-1 规定的数值低 3% 以内时容许使用，但不宜用于考虑塑性变形发展的构件。

3. 屈服点比表 1-1 规定的数值低 5% 以内时，可按比例折减容许应力。

4. 冷弯折角为 $150° < \alpha < 180°$ 时，容许使用于铆接或螺栓连接以及焊接结构的次要构件。

5. 冲击韧性不容许降低。

1.2.4　对无牌号或无证明书的钢材一般可按下列情况处理：

1. 按现行标准经试验证明其化学成分和机械性能符合 GB/T 700—1988 中所列牌号的要求，但未查明其冶炼方法时，可按相应的空气转炉沸腾钢使用。

2. 如有充分根据证明其为平炉或氧气转炉钢，但未查明其为镇静钢时，可按相应的沸腾钢使用。

3. 按现行标准经试验证明其化学成分和机械性能符合 GB/T1591—1994 中所列之 Q345、Q390 和 Q420 钢的要求时，可用于一般承重构件。

4. 对于成批混合的钢材，如用于主要承重结构时，必须逐根按现行标准对其化学成分和机械性能分别进行试验，如检验不符合要求时，可根据实际情况用于非承重结构构件。

5. 由于备料规格不能完全满足设计要求而需要代用钢材时，应按下列原则进行：

（1）代用钢材的化学成分和机械性能应与原设计一致。

（2）代用时应详细复核构件的强度、稳定性和刚度；特别要注意因材料代用而可能产生的偏心影响。同时，代用钢材应在可能范围内尽量做到经济合理。

（3）因材料代用而引起构件之间连接尺寸和设计施工详图等的变动，在代用时应予修改。

2 设计基本规定

2.1 设 计 原 则

2.1.1 设计方法

钢结构的设计（除疲劳计算外）采用以概率理论为基础的极限状态设计法，用分项系数的设计表达式进行计算。承重钢结构或构件应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

1. 承载能力极限状态

当结构或构件达到最大承载力、疲劳破坏或达到不适于继续承载的变形状态时，该结构或构件即达到承载能力极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了承载能力极限状态：

（1）整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如滑移或倾覆等）；

（2）结构构件或连接因其应力超过材料强度而破坏（包括疲劳破坏），或因过度的塑性变形而不适于继续承载；

（3）结构转变为机动体系而丧失承载能力；

（4）结构或构件因达到临界荷载而丧失稳定（如压屈等）。

2. 正常使用极限状态

当结构或构件达到正常使用的某项规定限值的状态时，该结构或构件即达到正常使用极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态：

（1）影响正常使用或外观的变形；

（2）影响正常使用的局部损坏；

（3）影响正常使用的振动；

（4）影响正常使用的其他特定状态。

设计结构或构件时通常按承载能力极限状态设计以保证安全，再按正常使用极限状态进行校核以保证适用性。

2.1.2 承载能力设计表达式

按承载能力极限状态设计时，应考虑荷载效应的**基本组合（可变荷载为主的组合和永久荷载为主的组合）**，必要时尚应考虑荷载效应的**偶然组合**，用荷载设计值进行计算，并采用下列表达式

不考虑地震作用时

$$\gamma_0 S \leqslant R \tag{2-1}$$

考虑多遇地震作用时

$$S_E \leqslant R/\gamma_{RE} \tag{2-2}$$

式中 γ_0——结构重要性系数，对安全等级为一级、二级和三级的结构构件，可分别取 1.1，1.0 和 0.9，一般钢结构构件 $\gamma_0 = 1.0$。设计工作寿命为 25 年，取 $\gamma_0 = 0.95$；

S——不考虑地震作用时，荷载效应组合设计值（力或应力）；

S_E——考虑多遇地震作用时，荷载和地震作用效应组合的设计（力或应力）值按建筑抗震设计规范 GB50011—2001 采用；

R——结构构件承载力（或钢材强度）设计值；

γ_{RE}——承载力（或应力）抗震调整系数，应按建筑抗震设计规范 GB50011—2001 采用，如表 2-1。

承载力抗震调整系数　　表 2-1

结构构件	柱，梁	支撑	节点板件，连接螺栓	连接焊接
γ_{RE}	0.75	0.80	0.85	0.90

1. 对于基本组合，荷载效应组合的设计值 S 可按下述规定取最不利值确定：

（1）由可变荷载效应控制的组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^{n} \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \tag{2-3}$$

式中　γ_G、γ_{Q1}、γ_{Qi}——永久荷载、第一个可变荷载和其他第 i 个可变荷载的分项系数（表 2-2）；

S_{Gk}——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值；

S_{Q1k}——按第一个可变荷载标准值 Q_{1k} 计算的荷载效应值，该可变荷载的效应大于其他任意第 i 个可变荷载的效应值；

Q_{ik}——其他第 i 个可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值；

ψ_{Ci}——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合值系数（表 2-2）；

n——参与组合的可变荷载数。

注：1. 基本组合中的设计值仅适用荷载与荷载效应为线性情况；

2. 当无法明显判断其效应设计值为诸可变荷载效应设计值中最大时，可轮次以各可变荷载计算其效应，选其中最不利的荷载效应组合。

（2）由永久荷载效应控制的组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^{n} \gamma_{Qi} \psi_{Ci} S_{Qik} \tag{2-4}$$

注：当考虑以竖向的永久荷载效应控制的组合时，参与组合的可变荷载仅限于竖向荷载并按下列组合值中取最不利值确定。

（3）对于常用的排架和框架结构，可采用简化规则，并按下列组合值中取最不利值确定：

1）由可变荷载效应控制的组合：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} \tag{2-5a}$$

$$S = \gamma_G S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^{n} \gamma_{Qi} S_{Qik} \tag{2-5b}$$

2）由永久荷载效应控制的组合仍按公式（2-4）采用。

在荷载效应的控制组合中，必须按表 2-2 经过计算比较才能确定由可变荷载效应还是

永久荷载效应控制的组合，一般来说永久荷载较小的轻型屋面钢屋架多为可变荷载效应控制的组合。

对于屋盖结构横向地震作用一般不起控制作用，但需采取加强支撑布置和连接节点等措施，以提高其纵向抗震能力。

2. 对于偶然组合，荷载效应组合的设计值宜按下列规定确定；偶然荷载的代表值不乘分项系数；与偶然荷载同时出现的其他荷载可根据观测资料和工程经验采用适当的代表值。各种情况下荷载效应的设计值公式，可按有关规范另行确定。

2.1.3 正常使用极限状态验算

对于正常使用极限状态，一般考虑荷载的标准组合并按下列设计表达式进行验算

$$S \leqslant C \tag{2-6}$$

式中 S——荷载效应组合的设计值（挠度或位移）；

C——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，见 2.4 节。

对于标准组合，荷载效应组合的设计值 S 可按下式采用

$$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{Ci} S_{Qik} \tag{2-7}$$

表 2-2 列出上述两种极限状态下基本组合与荷载有关的分项系数和组合值系数。

与荷载有关的系数 表 2-2

荷载类型	荷载分项系数 γ_G 和 γ_Q			组合值系数 ψ_C			
				屋面雪荷载	屋面积灰荷载	吊车荷载	风荷载
永久荷载	对结构不利时	可变荷载效应控制组合	1.20	—	—	—	—
		永久荷载效应控制组合	1.35				
	对结构有利时		1.0				
可变荷载	倾覆滑移或漂浮验算		0.90	0.70	0.90	0.70（0.95）括号内用于硬钩和 A8 软钩吊车	0.6
	一般情况		1.40				
	工业房屋楼面 $Q_k > 4kN/m^2$		1.30				

2.2 荷 载

钢结构设计中的荷载应按《建筑结构荷载规范》QB50009—2001 采用。

2.2.1 屋面荷载

1. 作用在屋面结构上的荷载有：

（1）永久荷载 包括屋面、屋架和天窗架等结构重量，以及作用于屋架节点上的设备，管道自重等。

（2）可变荷载 包括屋面均布活荷载、雪荷载、积灰荷载、吊车荷载、风荷载等。

（3）偶然荷载 其他意外事故产生的荷载。

2. 屋面均布活荷载

(1) 不上人屋面

屋面均布荷载标准值（按投影面积计算）一般为 0.5kN/m^2（不与雪荷载同时考虑），面在《钢结构设计规范》GB50017—2003 中补充规定了对支承轻型屋面的构件或结构（檩条、屋架、框架等），当仅有一个可变荷载且其受荷水平投影面积超过 60m^2 时，屋面均布荷载标准值应取 0.3kN/m^2。

(2) 上人屋面

按使用要求确定，但不得小于 2.0kN/m^2。

3. 施工或检修荷载

设计屋面板和檩条时应考虑施工或检修集中荷载，其标准值取 1.0kN。

当施工荷载有可能超过上述荷载时，应按实际情况取用，或加腋梁、支撑等临时设施承受。

4. 雪荷载、积灰荷载

雪荷载和积灰荷载的标准值按《建筑结构荷载规范》GB50009—2001 的规定采用外，并对屋面板和檩条，应考虑在屋面天沟、阴角、天窗挡风板内以及高低跨相接处的荷载增大系数。

2.2.2　吊车荷载

按起重机技术规格及《建筑结构荷载规范》GB50009—2001 规定计算。竖向荷载应乘以动力系数 1.05（吊车工作制 A1～A5）及 1.1（A6～A8 及硬钩吊车、特种吊车）。

2.2.3　风荷载

垂直于建筑物表面上的风荷载标准值，由基本风压 w_0、风振系数 β_z、体型系数 μ_s 及风压高度变化系数 μ_z 组成。

2.2.4　地震作用

按《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 的规定采用。

2.2.5　荷载组合

荷载效应组合应符合下列原则：

1. 屋面均布活荷载与雪荷载不同时考虑，设计时取两者中较大值；

2. 积灰荷载与屋面均布活荷载或雪荷载两者中较大者同时考虑；

3. 施工或检修荷载只与屋面材料及檩条自重荷载同时考虑；

4. 对于自重较轻的屋盖，应验算在风吸力作用下屋架杆件、檩条等在永久荷载与风荷载组合下杆件截面应力反号的影响，此时永久荷载的分项系数取 1.0。

2.3　设　计　指　标

2.3.1　钢材强度设计值

钢材强度设计值（材料强度的标准值除以抗力分项系数），**应根据钢材厚度或直径按表 2-3 采用。**

钢材强度设计值（N/mm^2） 表 2-3

钢材		抗拉、抗压和抗弯	抗剪	端面承压（刨平顶紧）
牌号	厚度或直径（mm）	f	f_v	f_{ce}
Q235 钢	≤16	215（205）	125（120）	325（310）
	>16～40	205	120	
	>40～60	200	115	
	>60～100	190	110	
Q345 钢	≤16	310（300）	180（175）	400（400）
	>16～35	295	170	
	>35～50	265	155	
	>50～100	250	145	
Q390 钢	≤16	350	205	415
	>16～35	335	190	
	>35～50	315	180	
	>50～100	295	170	
Q420 钢	≤16	380	220	440
	>16～35	360	210	
	>35～50	340	195	
	>50～100	325	185	

注：1. 表中厚度系指计算点的钢材厚度，对轴心受力构件系指截面中较厚板材的厚度；

2. 括号中数值适用于薄壁型钢。

2.3.2 钢铸件强度设计值

见表 2-4。

钢铸件的强度设计值（N/mm^2） 表 2-4

牌号	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压（刨平顶紧） f_{ce}
ZG200-400	155	90	260
ZG230-450	180	105	290
ZG270-500	210	120	325
ZG310-570	240	140	370

2.3.3 焊缝连接强度设计值

见表 2-5。

焊缝强度设计值（N/mm^2） 表 2-5

焊接方法和焊条型号	构件钢材		对接焊缝				角焊缝
	牌号	厚度或直径（mm）	抗压 f_c^w	焊缝质量为下列等级时，抗拉 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉、抗压和抗剪 f_f^w
				一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊和E43型焊条的手工焊	Q235 钢	≤16	215（205）	215（205）	185（175）	125（120）	160（140）
		>16～40	205	205	175	120	
		>40～60	200	200	170	115	
		>60～100	190	190	160	110	

续表

焊接方法和焊条型号	构件钢材		对接焊缝				角焊缝
	牌　号	厚度或直径（mm）	抗压 f_c^w	焊缝质量为下列等级时，抗拉 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉、抗压和抗剪 f_f^w
				一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊和E50型焊条的手工焊	Q345钢	≤16	310（300）	310（300）	265（255）	180（175）	200（195）
		>16～35	295	295	250	170	
		>35～50	265	265	225	155	
		>50～100	250	250	210	145	
自动焊、半自动焊和E55型焊条的手工焊	Q390钢	≤16	350	350	300	205	220
		>16～35	335	335	285	190	
		>35～50	315	315	270	180	
		>50～100	295	295	250	170	
自动焊、半自动焊和E55型焊条的手工焊	Q420钢	≤16	380	380	320	220	220
		>16～35	360	360	305	210	
		>35～50	340	340	290	195	
		>50～100	325	325	275	185	

注：1. 自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属抗拉强度不低于相应手工焊焊条的数值；

2. 焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205—2001）的规定；

3. 对接焊缝抗弯受压区强度设计值取 f_c^w，抗弯受拉区强度设计值取 f_t^w；

4. 同表2-3注。

2.3.4　螺栓连接强度设计值

见表2-6。

螺栓连接的强度设计值（N/mm²）　　表2-6

螺栓的性能等级或构件的钢材牌号		普通螺栓						锚栓	承压型连接高强度螺栓		
		C级螺栓			A级、B级螺栓						
		抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_c^b	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_c^b	抗拉 f_t^a	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_c^b
普通螺栓	4.6级、4.8级	170	140		—	—	—	—	—	—	—
	5.6级	—	—	—	210	199	—	—	—	—	—
	8.8级	—	—	—	400	320	—	—	—	—	—
锚栓（C级普通螺栓）	Q235钢	（165）	（125）	—	—	—	—	140	—	—	—
	Q345钢	—	—	—	—	—	—	180	—	—	—
承压型连接高强度螺栓	8.8级	—	—	—	—	—	—	—	400	250	—
	10.9级	—	—	—	—	—	—	—	500	310	—
构件	Q235钢	—	—	305（290）	—	—	405	—	—	—	470
	Q345钢	—	—	385（370）	—	—	510	—	—	—	590
	Q390钢	—	—	400	—	—	530	—	—	—	615
	Q420钢	—	—	425	—	—	560	—	—	—	655

注：1. A级螺栓用于 $d \leq 24mm$ 和 $l \leq 10d$ 或 $l \leq 150mm$（按较小值）的螺栓，B级螺栓用于 $d > 24mm$ 或 $l > 10d$ 或 $l > 150mm$（按较小值）的螺栓，d 为公称直径，l 为螺杆公称长度；

2. A、B级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度，C级螺栓孔的允许偏差和孔壁表面粗糙度，均应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205—2001的要求；

3. 表中括号内数值适用于薄壁型钢。

2.3.5 锚钉连接强度设计值

见表 2-7。

铆钉连接的强度设计值（N/mm^2） 表 2-7

铆钉钢号和构件的钢材牌号		抗拉（钉头拉脱） f_t^r	抗剪 f_v^r		承压 f_c^r	
			Ⅰ类孔	Ⅱ类孔	Ⅰ类孔	Ⅱ类孔
铆钉	BL2 或 BL3	120	185	155	—	—
构件	Q235 钢	—	—	—	450	360
	Q345 钢	—	—	—	565	460
	Q390 钢	—	—	—	590	480

注：1. 孔壁质量属下列情况者为Ⅰ类孔：

（1）在装配好的构件上按设计孔径钻成的孔；

（2）在单个零件和构件上按设计孔径分别用钻模钻成的孔；

（3）在单个零件上先钻成或冲成较小的孔径，然后在装配好的构件上再扩钻至设计孔径的孔。

2. 在单个零件上一次冲成或不用钻模钻成设计孔径的孔属于Ⅱ类孔。

2.3.6 电阻点焊抗剪承载力设计值

对于厚度小于和等于 3.5mm 的薄板，可采用电阻点焊。每个焊点的抗剪承载力设计值应按表 2-8 采用。电阻点焊的焊点中距不宜小于 $15\sqrt{t}$（mm），焊点边距不宜小于 $10\sqrt{t}$（mm）（t 为相连板件中外层较薄板件的厚度）。

电阻点焊的抗剪承载力设计值 表 2-8

相焊板件中外层较薄板件的厚度 t（mm）	每个焊点的抗剪承载力设计值 N_v^s（kN）	相焊板件中外层较薄板件的厚度 t（mm）	每个焊点的抗剪承载力设计值 N_v^s（kN）
0.4	0.6	2.0	5.9
0.6	1.1	2.5	8.0
0.8	1.7	3.0	10.2
1.0	2.3	3.5	12.6
1.5	4.0		

2.3.7 钢材及其连接强度设计值折减系数 α_y

计算下列情况的结构或连接时上述表中的强度设计值应乘以下列相应折减系数。

计算下列情况的结构构件和连接时，表 2-3、2-5、2-6、2-7 规定的强度设计值应乘以表 2-9 中相应的折减系数 α_y：

钢材及其连接强度设计值折减系数 α_y　　表 2-9

连　接　类　型	α_y
1. 单面连接的单角钢	
(1) 按轴心受力计算强度和连接	0.85
(2) 按轴心受压计算稳定性	
等边角钢	$0.6+0.0015\lambda$，但不大于 1.0；
短边相连的不等边角钢	$0.5+0.0025\lambda$，但不大于 1.0；
长边相连的不等边角钢	0.7；
薄壁型钢	$0.6+0.0014\lambda$；
λ 为长细比，对中间无联系的单角钢压杆取最小回转半径计算，当 $\lambda<20$，取 $\lambda=20$；	
2. 无垫板的单面施焊对接焊缝	0.85；
3. 施工条件较差的高空安装焊缝和铆钉连接	0.9；
4. 沉头和半沉头铆钉连接	0.8；
5. 平面格构式檩条端部主要受压腹杆	0.85；(仅用于薄壁型钢)

注：当表中几种情况同时存在时，其折减系数 α_y 应连乘。

2.3.8　钢材和钢铸件的物理性能指标

钢材和钢铸件的物理性能指标　　表 2-10

弹性模量 E (N/mm^2)	剪切模量 G (N/mm^2)	线膨胀系数 α (以每℃计)	质量密度 ρ (kg/m^3)
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

2.4　变　形　规　定

2.4.1　为了不影响结构或构件的观感和正常使用，设计时应对结构或构件的变形(挠度或侧移)规定相应的限值。当有实践经验或有特殊要求可根据不影响观感和正常使用的原则对表 2-11～表 2-13 进行适当的调整。

2.4.2　为改善外观和使用条件，可将横向构件预先起拱，起拱大小视实际需要而定，规范规定一般取恒荷载标准值加 1/2 活荷载标准值所产生的挠度值。当仅为改善外观条件时，构件挠度取为在恒荷载和活荷载标准值作用下的挠度计算值减去起拱度。一般可取 $l/500$。

受弯构件挠度容许值　　表 2-11

项次	构　件　类　别	挠度容许值 $[v_T]$	挠度容许值 $[v_Q]$
1	吊车梁和吊车桁架(按自重和起重量最大的一台吊车计算挠度)		
	(1) 手动吊车和单梁吊车(含悬挂吊车)	$l/500$	—
	(2) 轻级工作制桥式吊车	$l/800$	
	(3) 中级工作制桥式吊车	$l/1000$	
	(4) 重级工作制桥式吊车	$l/1200$	
2	手动或电动葫芦的轨道梁	$l/400$	—
3	有重轨(重量等于或大于 38kg/m)轨道的工作平台梁	$l/600$	—
	有轻轨(重量等于或小于 24kg/m)轨道的工作平台梁	$l/400$	

续表

项次	构件类别	挠度容许值	
		$[v_T]$	$[v_Q]$
4	楼（屋）盖梁或桁架，工作平台梁（第3项除外）和平台板		
	（1）主梁或桁架（包括设有悬挂起重设备的梁和桁架）	$l/400$	$l/500$
	（2）抹灰顶棚的次梁	$l/250$	$l/350$
	（3）除（1）、（2）款外的其他梁（包括楼梯梁）	$l/250$	$l/300$
	（4）屋盖檩条		
	支承无积灰的瓦楞铁和石棉瓦屋面者	$l/150$	—
	支承压型金属板、有积灰的瓦楞铁和石棉瓦等屋面者	$l/200$	—
	支承其他屋面材料者	$l/200$	—
	（5）平台板	$l/150$	—
5	墙架构件	—	
	（1）支柱	—	$l/400$
	（2）抗风桁架（作为连续支柱的支承时）	—	$l/1000$
	（3）砌体墙的横梁（水平方向）	—	$l/300$
	（4）支承压型金属板、瓦楞铁和石棉瓦墙面的横梁（水平方向）	—	$l/200$
	（5）带有玻璃窗的横梁（竖直和水平方向）	$l/200$	$l/200$

注：1. l 为受弯构件的跨度（对悬臂梁和伸臂梁为悬伸长度为2倍。

2. $[v_T]$ 为全部荷载标准值产生的挠度（如有起拱应减去拱度）的容许值；
$[v_Q]$ 为可变荷载标准值产生的挠度的容许值。

框架结构水平位移及位移角容许值 表 2-12

项次	结构类别	风荷载标准值作用下	水平地震作用下	
			弹性层间位移角	弹塑性层间位移角
1	无桥式吊车的单层框架的柱顶位移	$H/150$	—	—
2	有桥式吊车的单层框架的柱顶位移	$H/400$	—	—
3	多层框架的柱顶位移	$H/500$	—	—
4	多层框架的层间相对位移	$h/400$	1/300	1/50

注：1. H 为自基础顶面至柱顶的总高度；h 为层高。

2. 对室内装修要求较高的民用建筑多层框架结构，层间相对位移宜适当减小。无墙壁的多层框架结构，层间相对位移可适当放宽。

3. 对轻型框架结构的柱顶水平位移和层间位移均可适当放宽。

柱（吊车梁）水平位移（挠度）的计算容许值 表 2-13

项次	位移（挠度）的种类	按平面结构图形计算	按空间结构图形计算
1	厂房柱的横向位移（A7、A8）	$H_c/1250$	$H_c/2000$
2	露天栈桥柱的横向位移（A4～A8）	$H_c/2500$	—
3	厂房和露天栈桥柱的纵向位移（A4～A8）	$H_c/4000$	—
4	吊车梁或其制动结构水平挠度（A7、A8）	$l/2200$	—

注：1. H_c 为基础顶面至吊车梁或吊车桁架顶面的高度。

2. 计算厂房或露天栈桥柱的纵向位移时，可假定吊车的纵向水平制动力分配在温度区段内所有柱间支撑或纵向框架上。

3. 在设有A8级吊车的厂房中，厂房柱的水平位移容许值宜减小10%。

4. 以上均取一台最大吊车水平荷载（按建筑结构荷载规范取值）所产生的位移或挠度。

2.5　构　　造

2.5.1　构件

1. 截面尺寸

截面不宜小于 L45×4 或 L56×36×4（对焊接结构）或 L50×5 的角钢（对螺栓连接结构），但轻型钢结构不受此限。

2. 板（壁）厚

檩条和墙梁应用的冷弯薄壁型钢，壁厚不宜小于 2mm；受力构件和连接板不宜小于 4mm，圆钢管壁厚不宜小于 3mm。

3. 受压构件的最大宽厚比

（1）梁及受压构件翼缘和腹板的宽厚比见第 3 章。

（2）薄壁构件中受压板件的最大宽厚比应符合表 2-14 的规定。

受压板件的宽厚比限值　　表 2-14

板件类别 \ 钢材牌号	Q235 钢	Q345 钢
非加劲板件	45	35
部分加劲板件	60	50
加劲板件	250	200

（3）圆钢管截面构件的外径与壁厚之比不应超过 $100(235/f_y)$，对于 Q235 钢不应大于 100；对于 Q345 钢不应大于 68；方钢管或矩形钢管的最大外缘尺寸与壁厚之比不应超过 $40\sqrt{\frac{235}{f_y}}$，即对 Q235 钢不应大于 40；对于 Q345 钢不应大于 33。

4. 构件容许长细比

（1）受压构件的长细比不宜超过表 2-15 所列的数值。

受压构件的容许长细比　　表 2-15

项　次	构　件　名　称	容许长细比
1	主要构件（如杆、桁架，柱缀条及吊车梁以下柱撑等）	150
3	其他构件及支撑	200

注：1. 桁架（包括空间桁架）的受压腹杆，当其内力等于或小于承载能力的 50%时，容许长细比可取 200。

2. 计算单角钢受压构件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径，但在计算交叉杆件平面外的长细比时，可采用与角钢肢平行轴的回转半径。

3. $l\geq 60$m 桁架，弦杆和端压杆容许长细比取 100，其他腹杆 120（受动载）或 150（受静载）。

4. 由容许长细比控制截面的杆件，在计算其长细比时，可不考虑扭转效应。

（2）受拉构件的长细比不宜超过表 2-16 中所列的数值。

受拉构件的容许长细比 表 2-16

项次	构件名称	承受静力荷载或间接承受动力荷载		直接承受动力荷载的结构
		一般建筑结构	有重级工作制吊车	
1	桁架的构件	350	250	250
2	吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	300	200	—
3	支撑（张紧的圆钢除外）	400	350	—

注：1. 受拉构件在永久荷载与风荷载组合作用下受压时，其长细比不宜超过 250，在吊车荷载作用下受压时，长细比不宜超过 200；

2. 计算单角钢受拉构件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径；在计算单角钢交叉受拉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径；

3. 对于承受静力荷载的结构，可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比。

4. 中、重级工作制吊车桁架下弦杆的长细比不宜超过 200。

5. 在设有夹钳吊车或刚性料耙吊车的厂房中，支撑（表中第 2 项除外）的长细比不宜超过 300。

6. $L_0 \geqslant 60$m 桁架，其受拉弦杆和腹杆的长细比为 250（受动载）或 300（受静载）。

7. 构件长细比 $\lambda = l_0/i$，l_0 为构件计算长度（见第 3 章），i 为截面回转半径，由钢材截面特性表及计算确定。

5. 支撑系统的设置

应根据结构及其荷载的不同情况设置可靠的支撑系统。在建筑物每一个温度区段或分期建设的区段中，应分别设置独立的空间稳定的支撑系统。

6. 温度区段长度

单层房屋和露天结构的温度区段长度（伸缩缝间距），当不超过表 2-17 的数值时，一般可不考虑温度应力和温度变形的影响。

温度区段长度值（m） 表 2-17

结构情况	纵向温度区段（垂直屋架或构架跨度方向）	横向温度区段（沿屋架或构架跨度方向）	
		柱顶为刚接	柱顶为铰接
采暖和非采暖地区房屋	220	120	150
热车间和采暖地区非采暖房屋	180	100	125
露天结构	120	—	—

注：1. 厂房柱为其他材料时，应按相应规范的规定设置伸缩缝。围护结构可根据具体情况参照有关规范单独设置伸缩缝。

2. 无桥式吊车房屋的柱间支撑和有桥式吊车房屋，吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑，宜对称布置于温度区段中部，当不对称布置时，上述柱间支撑的中点（两道柱间支撑时为两支撑距离的中点）至温度区段端部的距离不宜大于表 2-17 纵向区段长度的 60%。

3. 当有充分依据或可靠措施时，表中数字可予以增减。

7. 其他要求

（1）钢结构的构造应便于制作、安装、维护并使结构受力简单明确，减少应力集中，避免材料三向受拉。对于受风荷载为主的空腹结构，应力求减少风荷载。

（2）焊接结构是否需要采用焊前预热焊后热处理等特殊措施，应根据材质、焊件厚度、焊接工艺、施焊时气温以及结构性能要求等综合因素来确定，并在设计文件中加以说明。

（3）在工作温度等于或低于 -30℃的地区，焊接构件宜采用较薄的组成板件。在工作温度等于或低于 -20℃的地区受拉构件的钢材边缘宜为轧制边或自动气割。对厚度大于 10mm 的钢材采用手工气割或剪切边时，应沿全长刨边。

2.5.2　连接

为提高寒冷地区结构抗脆断能力，焊接结构和结构施工应符合以下要求：

1. 在工作温度等于或低于－20℃的地区，焊接结构的构造：

(1) 在桁架节点板上，腹杆与弦杆相邻焊缝焊趾间净距不宜小于 $2.5t$（t 为节点板厚度)。

(2) 凡平接或 T 形对接的节点板，在对接焊缝处，节点板两侧宜做成半径不小于 60mm 的圆弧并予打磨，使之平缓过渡（参见图 8-39)。

(3) 在构件拼接部位，应使拼接件自由段的长度 a 不小于 $5t$，t 为拼接件厚度（图 2-1)。

2. 在工作温度等于或低于－20℃的地区，结构施工时：

(1) 安装连接宜采用螺栓连接；

(2) 应采用钻成孔或先冲孔后扩钻的孔；

(3) 对接焊缝的质量等级不得低于二级。

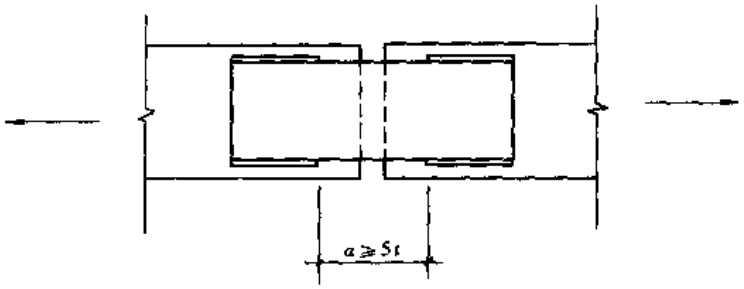


图 2-1　盖板拼接处的构造

3 基本构件计算

3.1 受 弯 构 件

3.1.1 受弯构件计算内容

1. 强度包括正应力、剪应力、局部压应力和折算应力；

2. 整体稳定性；

3. 局部稳定性；

4. 挠度；

5. 疲劳计算（仅对个别构件，详见 3.3 节）

为使计算与实际相符，尚需满足第 2 章基本构造和各章具体构件及连接的构造要求。各项的计算公式见 3-1 ~ 3-40。

3.1.2 受弯构件强度计算

在主平面内受弯的实腹构件（考虑腹板屈曲等强度见 3.1.5 条），其强度按表 3-1 所列公式计算。

受弯构件强度计算公式　　表 3-1

项次	计算内容		计 算 公 式	说 明
1	正应力	单向受弯	$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \leqslant f$ (3-1)	
		双向受弯	$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leqslant f$ (3-2)	
2	剪 应 力		$\tau = \frac{VS}{It_w} \leqslant f_v$ (3-3)	
3	局部压应力		$\sigma_C = \frac{\psi F}{t_w l_z} \leqslant f$ (3-4)	当上翼缘受有沿腹板平面作用的集中荷载，且该荷载处又未设置支承加劲肋时，才作此项计算； 支座处当不设置支承加劲肋时，应作此项计算
4	折算应力		$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leqslant \beta_1 f$ (3-5)	在组合梁的腹板计算高度边缘 h_0 处，若同时受有较大的正应力 σ、剪应力 τ 和局部压应力 σ_c 或同时受有较大的 σ 和 τ 时，应作此项计算

注：项次 1 为考虑正截面局部塑性发展的强度计算。当考虑构件全截面内塑性发展及内力重分配时的塑性设计见本章 3.4 节。

在表 3-1 的公式中：

M_x、M_y——绕 x 轴和 y 轴的弯矩(对 H 形钢或工字形截面，x 轴为强轴，y 轴为弱轴)；

W_{nx}、W_{ny}——对 x 轴和 y 轴的净截面模量；

γ_x、γ_y——截面塑性发展系数；其值按下列规定采用：

1）承受静力荷载或间接承受动力荷载时，

工字形截面　$\gamma_x = 1.05\left(\text{当}\dfrac{b}{t} > 13\sqrt{\dfrac{235}{f_y}}\text{时，}\ \gamma_x = 1.0\right)$；

$\gamma_y = 1.20$；

箱形截面　$\gamma_x = \gamma_y = 1.05$；

其他截面　按表 3-20 采用。

2）直接承受动力荷载时[①]，$\gamma_x = \gamma_y = 1.0$；

f_y——钢材的屈服点，按表 1-1 中的钢材牌号取用；

b、t——受压翼缘的自由外伸宽度和厚度。

f——钢材的抗弯、抗压、抗拉强度设计值；

V——计算截面沿腹板平面作用的剪力；

S——计算剪应力点以上毛截面对中和轴的面积矩；

I——毛截面惯性矩；

t_w——腹板厚度；

f_v——钢材的抗剪强度设计值；

F——集中荷载，对动力荷载应考虑动力系数；

ψ——集中荷载增大系数；重级工作制吊车梁，$\psi = 1.35$；其他梁，$\psi = 1.0$；

l_z——集中荷载在腹板计算高度 h_0 上边缘的假定分布长度；l_z 可按下式计算：

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R$$

a——集中荷载沿受弯构件跨度方向支承长度，钢轨上轮压可取为 50mm；

h_y——自梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离；

h_R——轨道高度，对梁顶无轨道的梁 $h_R = 0$；

σ、τ、σ_c——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力，σ、σ_c 以拉应力为正，压应力为负；τ 和 σ_c 应分别按表 3-1 中的公式（3-3）和公式（3-4）计算，σ 按下式计算：

$$\sigma = \frac{M}{I_n}y;$$

I_n——净截面惯性矩；

y——所计算点至中和轴的距离；

β_1——计算折算应力的强度设计值增大系数：当 σ 和 σ_c 异号时，取 $\beta_1 = 1.2$；当 σ 与 σ_c 同号时，取 $\beta_1 = 1.1$；当 $\sigma_c = 0$ 时，取 $\beta_1 = 1.1$。

这里的腹板计算高度 h_0，对轧制型钢梁，为腹板与上下翼缘相接处两内弧起点间的距离；对焊接组合梁，为腹板高度；对铆接（或高强度螺栓连接）组合梁为上、下翼缘与腹板连接的铆钉（或高强度螺栓）线间最近距离（见图 3-3）。

① 规范规定：需要计算疲劳的梁，宜取 $\gamma_x = \gamma_y = 1$，比本规定放宽。

3.1.3 受弯构件整体稳定计算

1. 符合下列情况之一时，可不计算梁的整体稳定；

（1）有铺板（各种钢筋混凝土板和钢板）密铺在受弯构件的受压翼缘上并与其牢固相连，能阻止受压翼缘的侧向位移时。

（2）等截面 H 型钢或工字形截面简支梁受压翼缘的自由长度 l_1 与其宽度 b_1 之比不超过表 3-2 所规定的数值时。

H 型钢或工字形截面简支梁不需计算整体稳定时 l_1/b_1 的最大值　　表 3-2

钢材牌号	跨中无侧向支承点		跨中有侧向支承点，不论荷载作用于何处
	荷载作用在上翼缘	荷载作用在下翼缘	
Q235	13.0	20.0	16.0
Q345	10.5	16.5	13.0
Q390	10.0	15.5	12.5
Q420	9.5	15.0	12.0

（3）两端简支的箱形截面受弯构件，其截面高度 h 与两腹板的间距 b_0（图 3-1）之比 $\leqslant 6$，且 $l_1/b_0 \leqslant 95(235/f_y)$ 时。

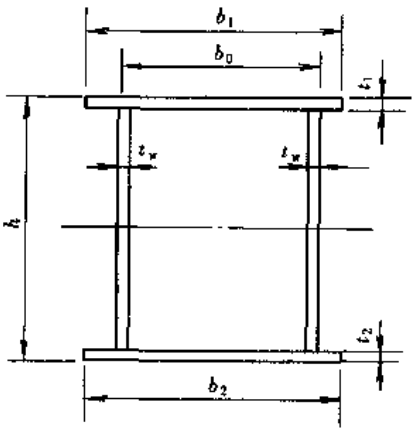


图 3-1　箱形截面

2. 受压翼缘的自由长度 l_1 应按下列规定采用；

（1）跨中无侧向支承点时，l_1 为受弯构件的跨度；

（2）跨中有侧向支承点时，l_1 为受压翼缘侧向支承点间的距离。

3. 在支座处应采取构造措施以防止端部截面发生扭转。

4. 当采用表 3-2 以外钢的牌号时，不需计算整体稳定的 l_1/b_1 或 l_1/b_0 最大值应按 Q235 钢的数值乘以 $\sqrt{235/f_y}$

5. 不能满足第 1 条的要求时，应按表 3-3 所列公式计算整体稳定。

受弯构件整体稳定计算公式　　表 3-3

项次	受力情况	计算公式	说明
1	仅在最大刚度主平面内受弯	$\dfrac{M_x}{\varphi_b W_x} \leqslant f$　(3-6)	在支座处应采取构造措施以防止端部截面发生扭转
2	两个主平面受弯的 H 型钢或工字形截面	$\dfrac{M_x}{\varphi_b W_x} + \dfrac{M_y}{\gamma_y W_y} \leqslant f$　(3-7)	

表 3-3 中：M_x、M_y——绕强轴和弱轴作用的最大弯矩；

W_x、W_y——按受压边缘纤维确定的对强轴和弱轴毛截面模量；

γ_y——截面塑性发展系数，按表 3-1 中的规定采用；

φ_b——绕强轴弯曲所确定的整体稳定系数，按表 3-4 的规定。

6. 整体稳定系数 φ_b 应按表 3-4 所列公式计算

受弯构件的整体稳定系数 φ_b　　表 3-4

项次	受弯构件情况		计　算　公　式	说　明
1	简支	焊接工字形截面	$\varphi_b=\beta_b\frac{4320}{\lambda_y^2}\cdot\frac{Ah}{W_x}\left[\sqrt{1+\left(\frac{\lambda_y t_1}{4.4h}\right)^2}+\eta_b\right]\frac{235}{f_y}$　(3-8)	当算得的 φ_b 值大于0.6时，应按表3-7查出相应的 φ'_b 代替 φ_b 值 H型钢截面可按公式（3-8）计算但取 $\eta_b=0$
2		轧制普通工字钢截面	φ_b 按表3-8采用	
3		轧制槽钢截面	$\varphi_b=\frac{570bt}{l_1h}\cdot\frac{235}{f_y}$　(3-9)	
4	悬臂	双轴对称工字形截面（含H型钢）	可按式（3-8）计算，但式中 β_b 应按表3-6查得，计算 λ_y 时，l_1 为悬臂梁的悬伸长度	

表3-4中：β_b——受弯构件整体稳定的等效弯矩系数；

β_b 按下列规定采用：

1）两端简支时，按表3-5采用；

2）悬臂梁时，按表3-6采用；

$\lambda_y=\frac{l_1}{i_y}$——梁在侧向支承点间对截面弱轴 $y-y$ 的长细比；

l_1——简支梁时按表3-2注的规定采用，悬臂梁时为悬伸长度；

i_y——毛截面对 y 轴的回转半径；

A——受弯构件的毛截面面积；

h、t_1——截面的全高和受压翼缘厚度（对铆接和高强度螺栓连接截面应包括翼缘角钢厚度在内）；

η_b——截面不对称影响系数：

对双轴对称工字形截面（图3-2a），

$$\eta_b=0$$

对单轴对称工字形截面（图3-2b、c）

加强受压翼缘时，　$\eta_b=0.8(2a_b-1)$

加强受拉翼缘时，　$\eta_b=2a_b-1$

$a_b=\frac{I_1}{I_1+I_2}$——I_1、I_2 分别为受压翼缘和受拉翼缘对 y 轴的惯性矩；

b、t——槽钢截面的翼缘宽度和厚度。

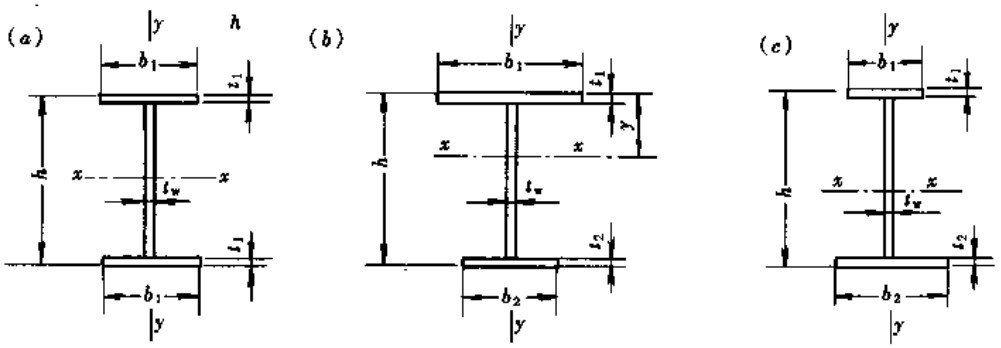


图3-2　焊接工字形（含轧制H型钢）截面

（a）双轴对称；（b）加强受压翼缘；（c）加强受拉翼缘

当按公式（3-8）算得的 φ_b 值大于 0.60 时，应按表 3-7 进行修正。

工字形截面简支梁的系数 β_b 表 3-5

项次	侧向支承	荷载		$\xi=\frac{l_1 t_1}{b_1 h}$		说明
				$\xi\leqslant 2.0$	$\xi>2.0$	
1	跨中无侧向支承	均布荷载作用在	上翼缘	$0.69+0.13\xi$	0.95	b_1—受压翼缘的宽度； l_1—同表 3-2 注； M_1、M_2—侧向支承点间梁的端弯矩，使梁产生同向曲率时 M_1 和 M_2 取同号，产生反向曲率时取异号，$\lvert M_1\rvert\geqslant\lvert M_2\rvert$
2			下翼缘	$1.73-0.20\xi$	1.33	
3		集中荷载作用在	上翼缘	$0.73+0.18\xi$	1.09	
4			下翼缘	$2.23-0.28\xi$	1.67	
5	跨度中点有一个侧向支承点	均布荷载作用在	上翼缘	1.15		
6			下翼缘	1.40		
7		集中荷载作用在截面高度上任意位置		1.75		
8	跨中有不少于两个等距离侧向支承点	任意荷载作用在	上翼缘	1.20		
9			下翼缘	1.40		
10	梁端有弯矩，但跨中无荷载作用			$1.75-1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right)+0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2$，但 $\leqslant 2.3$		

注：1. 表中项次 3、4 和 7 的集中荷载是指一个或少数几个集中荷载位于跨度中央附近的情况，对其他情况的集中荷载应按项次 1、2、5 和 6 内的数值采用；

2. 表中项次 8、9 的 β_b，当集中荷载作用在侧向支承点处时，取 $\beta_b=1.20$；

3. 荷载作用在上翼缘系指荷载作用点在翼缘表面，方向指向截面形心；荷载作用在下翼缘系指荷载作用点在翼缘表面，方向背向截面形心；

4. 对 $\alpha_b>0.8$ 的加强受压翼缘工字形截面，下列情况的 β_b 值应乘以相应的系数：

项次 1　当 $\xi\leqslant 1.0$ 时　0.95

项次 2　当 $\xi\leqslant 0.5$ 时　0.90

当 $0.5<\xi\leqslant 1.0$ 时　0.95

双轴对称工字形截面悬臂（含 H 型钢）梁的系数 β_b 表 3-6

项次	荷载形式		$\xi=\frac{l_1 t}{bh}$		
			$0.60\leqslant\xi\leqslant 1.24$	$1.24<\xi\leqslant 1.96$	$1.96<\xi\leqslant 3.10$
1	自由端一个集中荷载作用在	上翼缘	$0.21+0.67\xi$	$0.72+0.26\xi$	$1.17+0.03\xi$
2		下翼缘	$2.94-0.65\xi$	$2.64-0.40\xi$	$2.15-0.15\xi$
3	均布荷载作用在上翼缘		$0.62+0.82\xi$	$1.25+0.31\xi$	$1.66+0.10\xi$

注：1. l_1 为悬臂梁的悬伸长度，公式（3-8）中的 $\lambda_y=l_1/i_y$；

2. 当用于由邻跨延伸出来的伸臂梁时，应在构造上采取措施加强支承处的抗扭能力。

整体稳定系数 φ'_b 表 3-7

φ_b	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
φ'_b	0.600	0.636	0.667	0.694	0.717	0.738	0.756

续表

φ_b	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25
φ'_b	0.773	0.788	0.801	0.813	0.824	0.835	0.844
φ_b	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.60	1.80
φ'_b	0.853	0.861	0.868	0.875	0.882	0.893	0.913
φ_b	2.00	2.25	2.50	3.00	3.50	≥4.00	
φ'_b	0.929	0.944	0.957	0.976	0.989	1.000	

表 3-7 中 φ'_b，按公式（3-10）算得：

$$\varphi'_b = 1.07 - \frac{0.282}{\varphi_b} \tag{3-10}$$

轧制普通工字钢简支梁的 φ_b　　表 3-8

项次	荷载情况			自由长度 l_1（m） / 工字钢型号	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	跨中无侧向支承点的梁	集中荷载作用于	上翼缘	10～20	2.00	1.30	0.99	0.80	0.68	0.58	0.53	0.48	0.43
				22～32	2.40	1.48	1.09	0.86	0.72	0.62	0.54	0.49	0.45
				36～63	2.80	1.60	1.07	0.83	0.68	0.56	0.50	0.45	0.40
2			下翼缘	10～20	3.10	1.95	1.34	1.01	0.82	0.69	0.63	0.57	0.52
				22～40	5.50	2.80	1.84	1.37	1.07	0.86	0.73	0.64	0.56
3				45～63	7.30	3.60	2.30	1.62	1.20	0.96	0.80	0.69	0.60
		均布荷载作用于	上翼缘	10～20	1.70	1.12	0.84	0.68	0.57	0.50	0.45	0.41	0.37
				22～40	2.10	1.30	0.93	0.73	0.60	0.51	0.45	0.40	0.36
4				45～63	2.60	1.45	0.97	0.73	0.59	0.50	0.44	0.38	0.35
			下翼缘	10～20	2.50	1.55	1.08	0.83	0.68	0.56	0.52	0.47	0.42
				22～40	4.00	2.20	1.45	1.10	0.85	0.70	0.60	0.52	0.46
				45～63	5.60	2.80	1.80	1.25	0.95	0.78	0.65	0.55	0.49
5	跨中有侧向支承点的梁（不论荷载作用点在截面高度上的位置）			10～20	2.20	1.39	1.01	0.79	0.66	0.57	0.52	0.47	0.42
				22～40	3.00	1.80	1.24	0.96	0.76	0.65	0.56	0.49	0.43
				45～63	4.00	2.20	1.38	1.01	0.80	0.66	0.56	0.49	0.43

注：1. 与表 3-5 的注 1、注 3 相同。

2. 表中的 φ_b 适用于 Q235 钢，对其他钢，表中数值应乘以 $235/f_y$。

3. 表中 φ_b 大于 0.60 时，应按表 3-7 中的 φ'_b 代替。

7. 受均布弯矩的受弯构件，当 $\lambda_y \leqslant 120\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 时，其整体稳定系数 φ_b 可按表 3-9 中所列的近似公式计算。当算得的 φ_b 值大于 0.6 时，不需按表 3-7 换算成 φ'_b 值，当 $\varphi_b > 1$ 时，取 $\varphi_b = 1$。

受弯构件整体稳定系数 φ_b 的近似计算公式 表 3-9

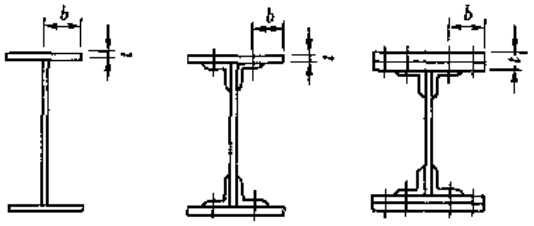
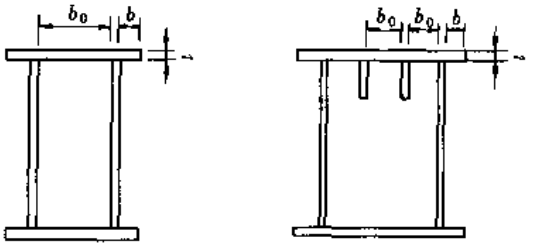
项次	截面形式		近似计算公式	
1	双轴对称工字形截面		$\varphi_b = 1.07 - \frac{\lambda_y^2}{44000}\cdot\frac{f_y}{235}$	(3-11)
2	单轴对称工字形截面		$\varphi_b = 1.07 - \frac{W_{1x}}{(2\alpha_b+0.1)Ah}\cdot\frac{\lambda_y^2}{14000}\cdot\frac{f_y}{235}$	(3-12)
3	双角钢T形截面	弯矩使翼缘受压	$\varphi_b = 1 - 0.0017\lambda_y\sqrt{\frac{f_y}{235}}$	(3-13)
4	双角钢T形截面	弯矩使翼缘受拉且腹板宽厚比不大于 $18\sqrt{235/f_y}$	$\varphi_b = 1 - 0.0005\lambda_y\sqrt{\frac{f_y}{235}}$	(3-14)
5	部分T形钢和两板组成T形截面	弯矩使翼缘受压	$\varphi_b = 1 - 0.0022\lambda_y\sqrt{\frac{f_y}{235}}$	(3-15)
6	部分T形钢和两板组成T形截面	弯矩使翼缘受拉且腹板宽厚比不大于 $18\sqrt{235/f_y}$	$\varphi_b = 1 - 0.0005\lambda_y\sqrt{\frac{f_y}{235}}$	(3-14)

8. 用作减少梁受压翼缘自由长度的侧向支撑，其支撑力应将梁的受压翼缘视为轴力杆按公式（3-65）、（3-66）进行计算。

3.1.4 受弯构件局部稳定计算（不考虑腹板屈曲后强度）

1. 受压翼缘的宽厚比应符合表 3-10 的规定，以保证其局部稳定。

受压翼缘宽厚比的规定 表 3-10

项次	截面形式	规定值
1		$\frac{b}{t} \le \begin{cases} 15 & \text{(Q235 钢)} \\ 12.4 & \text{(Q345 钢)} \\ 11.6\ (11.2) & \text{Q390（Q420）钢} \\ 15\sqrt{\frac{235}{f_y}} & \text{(其他牌号钢)} \end{cases}$
2		$\frac{b}{t}$ 同上，$\frac{b_0}{t} \le \begin{cases} 40 & \text{(Q235 钢)} \\ 30 & \text{(Q345 钢)} \\ 31\ (30) & \text{Q390（Q420）钢} \\ 40\sqrt{\frac{235}{f_y}} & \text{(其他牌号钢)} \end{cases}$

注：图中 b，对焊接构件，取腹板边至翼缘板（肢）边缘距离。

2. 腹板应按表 3-11 配置加劲肋，以保证其局部稳定。

腹板配置加劲肋的规定　　表 3-11

项次	加劲肋配置规定		说明
1	$h_0/t_w \leqslant 80\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 时	(1) 型钢梁及 $\sigma_c=0$ 的组合梁，可不配置加劲肋	
2		(2) $\sigma_c \neq 0$ 的组合梁，宜按构造配置横向加劲肋	见表 3-14 项次 1
3	$80\sqrt{\frac{235}{f_y}} < h_0/t_w \leqslant 170\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 时	应配置横向加劲肋	设加劲肋间距后应按表 3-12 的公式计算
4	$h_0/t_w > 170\sqrt{\frac{235}{f_y}}$（受压翼缘扭转受约束），$h_0/t_w > 150\sqrt{\frac{235}{f_y}}$（受压翼缘扭转未受约束）	应配置： (1) 横向加劲肋， (2) 弯曲应力较大区格的受压区设纵向加劲肋， (3) 局部压应力很大的梁，宜在受压区配置短加劲肋	设加劲肋间距后应按表 3-13 的公式计算
5	支座处和上翼缘受有较大固定集中荷载处，宜设置支承加劲肋		

注：任何情况下，$h_0/t_w \leqslant 250\sqrt{\frac{235}{f_y}}$。

表 3-11 中：

h_0——腹板的计算高度，按图 3-3 采用（对单轴对称梁表中 3-11 第 4 项中的 h_0 应取腹板受压区高度 h_c 的 2 倍）；

t_w——腹板的厚度；

σ_c——局部压应力。

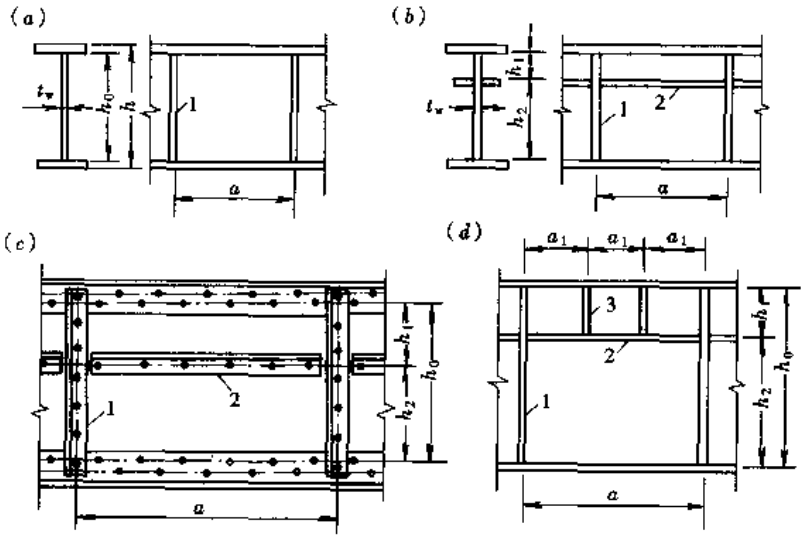


图 3-3　加劲肋布置图

(a) 横向加劲肋；(b)、(c) 纵向加劲肋；(d) 短加劲肋

3. 仅配置横向加劲肋的腹板（图 3-3*a*），其各区格局部稳定应按表 3-12 计算。

腹板局部稳定计算 表 3-12

项次	公式	说明
1	$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2+\frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}}\leqslant 1$ (3-16) $\sigma=\frac{Mh_c}{I}\quad \tau=V/(h_w t_w)\quad \sigma_c=F/(t_w l_z)$	σ—所计算腹板区格内由平均弯矩产生的腹板计算高度边缘的弯曲压应力； F，l_z—见表 3-1 τ—所计算腹板区格内，由平均剪力产生的腹板平均剪应力； σ_c—腹板计算高度边缘的局部压应力； σ_{cr}、τ_{cr}、$\sigma_{c,cr}$—腹板受弯、受剪和局部受压应力单独作用下的临界应力； λ_b、λ_s、λ_c—腹板受弯、受剪和局部压力计算时的通用高厚比； h_c—梁腹板弯曲时受压区高度，对于双轴对称截面 $h_0=2h_c$； a—横向加劲肋间距
2	σ_{cr}： $\lambda_b\leqslant 0.85$ $\sigma_{cr}=f$ (3-17*a*) $0.85<\lambda_b\leqslant 1.25$ $\sigma_{cr}=[1-0.75(\lambda_b-0.85)]f$ (3-17*b*) $\lambda_b>1.25$ $\sigma_{cr}=1.1f/\lambda_b^2$ (3-17*c*) 受压翼缘扭转受约束 $\lambda_b=\frac{2h_c/t_w}{177}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ (3-17*d*) 受压翼缘扭转不受约束 $\lambda_b=\frac{2h_c/t_w}{153}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ (3-17*e*)	
3	τ_{cr}： $\lambda_s\leqslant 0.80$ $\tau_{cr}=f_v$ (3-18*a*) $0.80<\lambda_s\leqslant 1.2$ $\tau_{cr}=[1-0.59(\lambda_s-0.8)]f_v$ (3-18*b*) $\lambda_s>1.2$ $\tau_{cr}=1.1f/\lambda_s^2$ (3-18*c*) $a/h_0\leqslant 1.0$ $\lambda_s=\frac{h_0/t_w}{41\sqrt{4+5.34(h_0/a)^2}}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ (3-18*d*) $a/h_0>1.0$ $\lambda_s=\frac{h_0/t_w}{41\sqrt{5.34+4(h_0/a)^2}}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ (3-18*e*)	
4	$\sigma_{c,cr}$： $\lambda_c\leqslant 0.9$ $\sigma_{c,cr}=f$ (3-19*a*) $0.9<\lambda_c\leqslant 1.2$ $\sigma_{c,cr}=[1-0.79(\lambda_c-0.9)]f$ (3-19*b*) $\lambda_c>1.2$ $\tau_{c,cr}=1.1f/\lambda_c^2$ (3-19*c*) $0.5<a/h_0\leqslant 1.5$ $\lambda_c=\frac{h_0/t_w}{28\sqrt{10.9+13.4(1.83-a/h_0)^3}}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ (3-19*d*) $1.5<a/h_0\leqslant 2.0$ $\lambda_s=\frac{h_0/t_w}{28\sqrt{18.9-5a/h_0}}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ (3-19*e*)	

注：轻中级工作制吊车梁计算腹板的稳定时，吊车轮压设计值 F 可乘以折减系数 0.9。

4. 同时配置横向和纵向加劲肋加强的腹板（图 3-3*b*、*c*），其各区格的局部稳定应按表 3-13 计算。

腹板局部稳定计算　　表 3-13

项次	公　式	说　明
1	受压翼缘与纵向加劲肋区格 $\frac{\sigma}{\sigma_{cr1}}+\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr1}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr1}}\right)^2\leqslant 1$　(3-20)	σ_2—所计算区格内腹板在纵向加劲肋处压应力平均值； σ_{c2}—腹板在纵向加劲肋处的横向压应力，取为 $0.3\sigma_c$； h_1—为纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离； 其余符号同表 3-12
2	σ_{cr1}按公式（3-17）计算，但式中 λ_b 改为 λ_{b1} 受压翼缘扭转受约束　$\lambda_{b1}=\frac{h_1/t_w}{75}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$　(3-21*a*) 受压翼缘扭转不受约束　$\lambda_{b1}=\frac{h_1/t_w}{64}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$　(3-21*b*)	
3	τ_{cr1}按公式（3-18）计算，但式中 h_0 改为 h_1	
4	$\sigma_{c,cr1}$亦按公式（3-17）计算，但式中 λ_b 改为 λ_{c1} 受压翼缘扭转受约束　$\lambda_{c1}=\frac{h_1/t_w}{56}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$　(3-22*a*) 受压翼缘扭转不受约束　$\lambda_{c1}=\frac{h_1/t_w}{40}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$　(3-22*b*)	
5	受拉翼缘与纵向加劲肋区格 $\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr2}}\right)^2+\frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c,cr2}}\leqslant 1.0$　(3-23)	
6	σ_{cr2}按公式（3-17）计算，但式中 λ_b 改为 λ_{b2} $\lambda_{b2}=\frac{h_2/t_w}{194}\sqrt{f_y/235}$　(3-24)	
7	τ_{cr2}按公式（3-18）计算，但式中 h_0 改为 h_2 （$h_2=h_0-h_1$）	
8	$\sigma_{c,cr2}$按公式（3-19）计算，但式中 h_0 改为 h_2，当 $a/h_2>2$ 时取 $a/h_2=2$	
9	设短加劲肋区格（图 3-3*d*），其局部稳定按公式（3-20）计算。该式中 σ_{cr1} 按公式（3-17），τ_{cr1}按公式（3-18）计算，但将 h_0 和 a 改为 h_1 和 a_1（a_1 为短加劲肋间距见图 3-3*d*），$\sigma_{c,cr1}$按公式（3-17）计算，但将 λ_b 改为下列 λ_{c1}代替；对 $a/h_1\leqslant 1.2$ 的区格 当梁受压翼缘扭转受约束　$\lambda_{c1}=\frac{a_1/t_w}{87}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$　(3-25*a*) 受压翼缘扭转不受约束　$\lambda_{c1}=\frac{a_1/t_w}{73}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$　(3-25*b*) 对 $a_1/h_1>1.2$ 的区格 上式（3-25*a*）和（3-25*b*）右侧应乘以 $\frac{1}{\sqrt{0.4+0.5\frac{a_1}{h_1}}}$	

注：同表 3-12。

5. 加劲肋的构造规定

加劲肋的截面尺寸和间距见表 3-14。

加劲肋的截面尺寸和间距 表 3-14

项次	加劲肋情况			截面尺寸		说明
1	横向加劲肋	无纵向加劲肋	在腹板两侧成对配置时	外伸宽度，$b_s \geq \frac{h_0}{30}+40$ (mm)	(3-26a)	I_z—横向加劲肋截面惯性矩； I_y—纵向加劲肋截面惯性矩； h_1—纵向加劲肋至受压翼缘的距离，$h_1=\left(\frac{1}{5}\sim\frac{1}{4}\right)h_0$
				厚度，$t_s \geq \frac{b_s}{15}$	(3-27a)	
				间距 $a=(0.5\sim2.0)\,h_0$	(3-28a)	
				当 $\sigma_c=0$，$\frac{h_0}{t_w}\leq 100$ 时，$a=2.5h_0$	(3-28b)	
			在腹板一侧配置时（重级工作制吊车梁不允许）	外伸宽度，$b_s \geq \frac{h_0}{25}+48$ (mm)	(3-26b)	
				t_s 按公式 (3-27a) 计算		
		有纵向加劲肋		b_s、t_s 按公式 (3-26a)、(3-27a) 计算，且 $I_z \geq 3h_0t_w^3$	(3-29)	
2	纵向加劲肋			当 $\frac{a}{h_0}\leq 0.85$ 时，$I_y \geq 1.5h_0t_w^3$	(3-30a)	
				当 $\frac{a}{h_0}>0.85$ 时		
				$I_y \geq \left(2.5-0.45\frac{a}{h_0}\right)\left(\frac{a}{h_0}\right)^2 h_0t_w^3$	(3-30b)	
3	短加劲肋			间距，$a_{min}=0.75h$	(3-28c)	
				外伸宽度，$b_{ss}=0.7b_s\sim b_s$	(3-26c)	
				厚度，$t_{ss} \geq \frac{b_{ss}}{15}$	(3-27b)	

注：1. 用型钢（H型钢、工字钢、槽钢、肢尖焊于腹板的角钢）作成的加劲肋，其截面惯性矩不得小于相应钢板加劲肋的惯性矩；

2. 在腹板两侧成对配置加劲肋，其截面惯性矩应按梁腹板中心线为轴线进行计算；而在腹板一侧配置的加劲肋，其截面惯性矩应按与加劲肋相连的腹板边缘为轴线进行计算。

6. 梁支承加劲肋的计算

按支座反力或固定集中荷载的轴心受压构件计算其在腹板平面外的稳定性。构件的截面应包括加劲肋和加劲肋每侧 $15t_w\sqrt{235/f_y}$ 范围内的腹板面积，计算长度取 h_0。

梁支座加劲肋的端部应按所承受的支座反力或固定集中荷载进行计算；当端部为刨平顶紧时，计算其端面承压力（突缘支座应符合图 3-4*b* 的要求）；当端部为焊接时计算其焊缝应力（梁端构造见图 3-4）。

3.1.5 受弯构件（考虑腹板屈曲后强度）的局部稳定计算

承受静力荷载①的工字形截面焊接组合梁（图3-3*a*），除应满足表 3-10 的受压翼缘宽厚比外，当其腹板高厚比较大（但不大于 $250\sqrt{235/f_y}$），仅设置支承加劲肋或除设置支承加劲肋外再增设中间横向加劲肋时可采用表 3-15 中腹板屈曲后的强度计算。计算公式见表 3-15 。（①也包括间接承受静力荷静）。

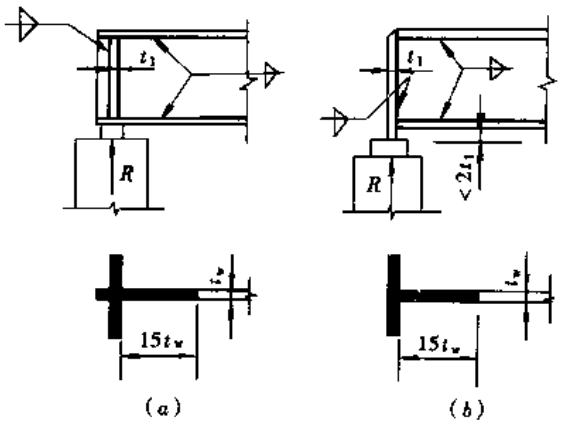


图 3-4　梁端支座图

（a）平板式支座；（b）突缘支座

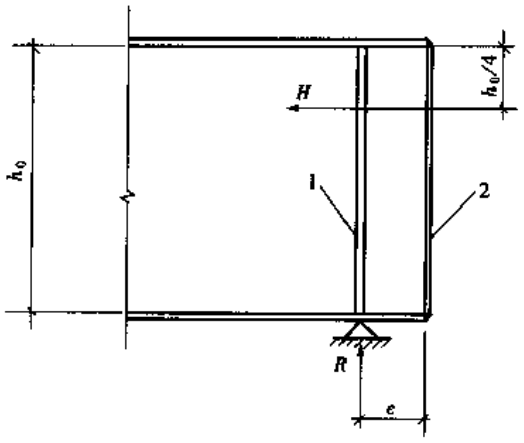


图 3-5　考虑腹板屈曲后强度的梁端构造

腹板考虑屈曲后强度计算　　表 3-15

项次	公　　式	说　明
1	$\left(\dfrac{V}{0.5V_u}-1\right)^2+\dfrac{M-M_f}{M_{eu}-M_f}\leqslant 1$　(3-31) $V<0.5V_u$ 取 $V=0.5V_u$，$M<M_f$，取 $M=M_f$ $M_f=\left(A_{f1}\dfrac{h_1^2}{h_2}+A_{f2}h_2\right)f$　(3-32)	M、V—所计算区格内梁的平均弯矩和剪力设计值； M_f—梁两翼缘所承担的弯矩设计值； A_{f1}，h_1—较大翼缘的截面积及其形心至梁中和轴距离； A_{f2}，h_2—较小翼缘的截面积及其形心至梁中和轴距离； M_{eu}，V_u—梁抗弯及抗剪承载力设计值； α_e—梁截面模量考虑腹板有效高度折减系数； I_x—按梁截面全部有效，算得绕 x 轴的惯性矩； W_x—受压纤维的截面模量，$W_x=I_x/h_2$； h_c—按梁截面全部有效，算得的腹板受压区高度； γ_x—梁截面塑性发展系数； F—作用于中间支承加劲肋上端的集中压力； 对不设中间横向加劲肋的腹板 a 取梁支座至跨内剪力为零点的距离。 当在公式（3-31）中考虑轴压力 N 影响时，可将公式（3-32）及（3-33）中的 f 以 $f-N/A$ 代替。
2	$M_{eu}=\gamma_x\alpha_e W_x f$　(3-33) $\alpha_e=1-\dfrac{(1-\rho)\,h_c^3 t_w}{2I_x}$　(3-34) $\lambda_b\leqslant 0.85$　$\rho=1.0$　(3-35a) $0.85<\lambda_b\leqslant 1.25$　$\rho=1-0.82\,(\lambda_b-0.85)$　(3-35b) $\lambda_b>1.25$　$\rho=\dfrac{1}{\lambda_b}\left(1-\dfrac{0.2}{\lambda_b}\right)$　(3-35c) 梁受压翼缘扭转受约束，$\lambda_b=\dfrac{2h_c/t_w}{177}\sqrt{\dfrac{f_y}{235}}$　(3-17d) 梁受压翼缘扭转不受约束，$\lambda_b=\dfrac{2h_c/t_w}{153}\sqrt{\dfrac{f_y}{235}}$　(3-17e)	
3	V_u：$\lambda_s\leqslant 0.8$　$V_u=h_0 t_w f_v$　(3-36a) $0.8<\lambda_s\leqslant 1.2$　$V_u=h_0 t_w f_v\,[1-0.5\,(\lambda_s-0.8)]$　(3-36b) $\lambda_s>1.2$　$V_u=h_0 t_w f_v/\lambda_s^{1.2}$　(3-36c) λ_s 按表 3-12 公式（3-18d）和公式（3-18e）计算； 当仅设置支座加劲肋时，公式（3-18e）中 $\dfrac{h_0}{a}=0$	
4	当仅配置支承加劲肋，不满足式（3-31）要求时，应在腹板两侧成对设置中间横向加劲肋，其间距 $a=(1\sim 2)\,h_0$，其截面尺寸除满足表 3-14 中公式（3-26a）和（3-27a）外，尚应计算中间横向加劲肋在轴心压力 N_s 作用下腹板平面外的稳定性，轴心压力为：$N_s=V_u-\tau_{cr}h_w t_w+F$　(3-37)	
5	当腹板在支座旁的区格利用屈曲后强度且 $\lambda_s\geqslant 0.8$ 时，支座加劲肋除承受梁的支座反力，尚应承受拉力场的水平分力 H，按压弯构件计算其在腹板平面外的稳定， $H=(V_u-\tau_{cr}h_w t_w)\sqrt{1+\left(\dfrac{a}{h_0}\right)^2}$　(3-38) 当支座加劲肋采用图 3-5 的构造形式时可采用下述简化法： 加劲肋 1 作为轴心压杆，压力为支座反力 R； 封板 2 的截面积 A_c，$A_c=3h_0 H/(16ef)$　(3-39)	

注：考虑腹板屈曲后的梁可按构造需要设置中间横向加劲肋。当中间横向加劲肋间距较大$\left(\dfrac{a}{h}>2.5\right)$和不设中间横向加劲肋的腹板当满足表 3-12 中式（3-16）时可取 $H=0$。

3.1.6 受弯构件挠度计算

受弯构件的挠度应满足下式的要求

$$v \leqslant [v] \tag{3-40}$$

式中 v——由全部荷载或可变荷载标准值计算所得的构件挠度，根据荷载和支承条件由静力计算确定；

$[v]$——构件的容许挠度值，按表 2-11 采用。

3.2 轴心受力构件和拉弯、压弯构件

3.2.1 轴心受力构件的计算内容

1. 强度；
2. 整体稳定（对于轴心受压和压弯构件）；
3. 局部稳定（对于轴心受压和压弯构件）；

3.2.2 轴心受力构件的强度和稳定计算

1. 实腹式轴心受力构件的计算公式见表 3-16。

轴心受力构件的计算公式 **表 3-16**

项次	构件名称	计算内容			计算公式	说明
1	轴心受拉构件	强度（摩擦型高强度螺栓连接处除外）			$\sigma = \dfrac{N}{A_n} \leqslant f$ (3-41)	N—轴心拉力或轴心压力； n—在节点或拼接处，构件一端连接的高强度螺栓数目； n_1—所计算截面（最外列螺栓处）上高强度螺栓数目； A_n—构件净截面面积； A—构件毛截面面积； λ—构件长细比，并满足表 2-15； φ—轴心受压构件的稳定系数，根据截面分类及表 3-17 算得的最大长细比由表 14 查得； b，t—翼缘板外伸宽度和厚度； h_0，t_w—腹板计算高度及厚度；
		摩擦型高强度螺栓连接处的强度			$\sigma = \left(1 - 0.5\dfrac{n_1}{n}\right)\dfrac{N}{A_n} \leqslant f$ (3-42) $\sigma = \dfrac{N}{A} \leqslant f$ (3-43)	
2	实腹式轴心受压构件	强度			按公式（3-41）至公式（3-43）计算	
		整体稳定			$\dfrac{N}{\varphi A} \leqslant f$ (3-44)	
		局部稳定	翼缘	工字形截面及 H 型钢	$\dfrac{b}{t} \leqslant (10 + 0.1\lambda)\sqrt{\dfrac{235}{f_y}}$ (3-45) λ 为构件两方向的长细比较大值，当 $\lambda < 30$，取 $\lambda = 30$； 当 $\lambda > 100$，取 $\lambda = 100$； f_y 按钢材牌号取用	
				箱形截面	与表 3-10 的规定相同	
			腹板	工字形截面及 H 型钢	$\dfrac{h_0}{t_w} \leqslant (25 + 0.5\lambda)\sqrt{\dfrac{235}{f_y}}$ (3-46) λ 和 f_y 同上	
				T 形截面	h_0/t_w 同表 3-19 说明中热轧部分 T 形钢和焊接 T 形钢	
				箱形截面	h_0/t_w 与表 3-10 中 b_0/t 的规定相同	

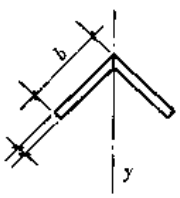
续表

项次	构件名称	计算内容	计　算　公　式	说　明
3	格构式轴心受压构件	强度	按公式（3-41）至公式（3-43）计算	λ_1—单肢对最小刚度1-1（见表3-18）的长细比，其计算长度取：焊接连接时，为相邻两缀板间净距，螺栓连接时，为相邻两缀板边缘螺栓的最近距离；确定分肢截面尺寸时，也应注意其局部稳定性。 格构式构件对虚轴的换算长细比见表3-18
		整体稳定	按公式（3-44）计算，但按表3-18采用换算长细比	
		分肢的长细比要求	缀条组合受压构件的分肢，长细比 λ_1 不应大于构件两方向长细比（对虚轴取换算长细比）的较大值 λ_{max} 的0.7倍	
			缀板组合受压构件的分肢，长细比 λ_1 不应大于40，并不应大于构件最大长细比 λ_{max} 的0.5倍（当 $\lambda_{max}<50$ 时，取 $\lambda_{max}=50$）	

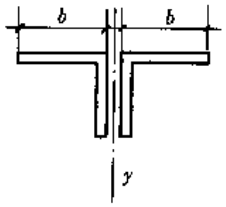
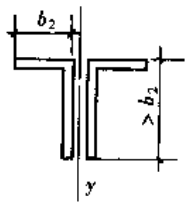
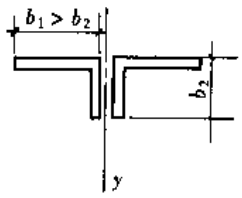
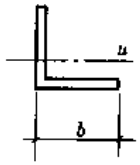
注：当工字形和箱形截面的 h_0/t_w 不满足要求时，腹板的截面应仅考虑计算高度边缘范围内两侧宽度各为 $20t_w\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 的部分（计算构件的稳定系数时仍用全截面），或用纵向加劲肋加强，使加劲肋与翼缘间以及加劲肋之间的腹板的高厚比满足要求。纵向加劲肋宜在腹板两侧成对布置，每侧外伸宽度不小于 $10t_w$，厚度不小于 $0.75t_w$。

（1）构件长细比 λ 应按表3-17经换算后确定：

长细比计算公式　　表3-17

项次	截面特征	长细比 λ 计算公式	说　明
1	双轴对称	$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}$　(3-47a) $\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}$　(3-47b) 对双轴对称的十字形截面 λ_x（λ_y）$\geqslant 5.07b/t$	l_{0x}、l_{0y}—构件对主轴 x、y 的计算长度； i_x、i_y—构件截面对主轴 x、y 的回转半径，当单轴对称时设 y 为对称轴； λ_{yz}—绕对称轴计及扭转效应代替 λ_y 的换算长细比； e_0—截面形心至剪心距离； i_0—截面对剪心的极回转半径； λ_y—构件对对称轴的长细比； λ_z—扭转屈曲的换算长细比； I_t—毛截面抗扭惯性矩；
2	单轴对称	$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}$　(3-47a) $\lambda_{yz}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\lambda_y^2+\lambda_z^2)+\sqrt{(\lambda_y^2+\lambda_z^2)^2-4(1-e_0^2/i_0^2)\lambda_y^2\lambda_z^2}\right]^{\frac{1}{2}}$　(3-48) $\lambda_z^2=i_0^2A/(I_t/25.7+I_\omega/l_\omega^2)$　(3-49) $i_0^2=e_0^2+i_x^2+i_y^2$	
3	（1）等边单角钢  （a）	$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.85b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)$　(3-50a) $b/t>0.54l_{0y}/b$　$\lambda_{yz}=4.78\frac{b}{t}\left(1+\frac{l_{0y}^2t^2}{13.5b^4}\right)$　(3-50b)	

续表

项次	截面特征	长细比 λ 计算公式	说 明
3	(2) 等边双角钢  (b)	$b/t \leqslant 0.58 l_{0y}/b$ $\lambda_{yz} = \lambda_y \left(1 + \frac{0.475 b^4}{l_{0y}^2 t^2}\right)$ (3-51a) $b/t > 0.58 l_{0y}/b$ $\lambda_{yz} = 3.9 \frac{b}{t}\left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{18.6 b^4}\right)$ (3-51b)	I_ω—毛截面扇性惯性矩，对T形、十字形及角形截面 $I_\omega \approx 0$； A—毛截面面积； l_ω—扭转屈曲计算长度，对两端铰接、端部截面可自由翘曲或两端嵌固、端部截面的翘曲完全受到约束的构件，取 $l_\omega = l_{0y}$
	(3) 长肢相并的不等边双角钢  (c)	$b_2/t \leqslant 0.48 l_{0y}/b_2$ $\lambda_{yz} = \lambda_y \left(1 + \frac{1.09 b_2^4}{l_{0y}^2 t^2}\right)$ (3-52a) $b_2/t > 0.48 l_{0y}/b_2$ $\lambda_{yz} = 5.1 \frac{b_2}{t}\left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{17.4 b_2^4}\right)$ (3-52b)	
	(4) 短肢相并的不等边双角钢  (d)	$b_1/t \leqslant 0.56 l_{0y}/b_1$ $\lambda_{yz} = \lambda_y$ (3-53a) $b_1/t > 0.56 l_{0y}/b_1$ $\lambda_{yz} = 3.7 \frac{b_1}{t}\left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{52.7 b_1^4}\right)$ (3-53b)	
	(5) 等边角钢绕平行轴 u（确定 φ 值时，按 b 类截面）  (e)	$b/t \leqslant 0.69 l_{0u}/b$ $\lambda_{uz} = \lambda_u \left(1 + \frac{0.25 b^4}{l_{0u}^2 t^2}\right)$ (3-54a) $b/t > 0.69 l_{0u}/b$ $\lambda_{uz} = 5.4 b/t$ (3-54b) $\lambda_u = \lambda_{0u}/i_u$	

注：1. 公式（3-50）～（3-54）为公式（3-48）的简化公式；

2. 无任何对称轴且又非极对称截面（单面连接的不等边角钢除外）不宜用作轴心压杆。

3. 对单面连接的单角钢轴心受压杆件，按表2-9考虑折减系数 α_y 后，可不考虑弯扭效应。

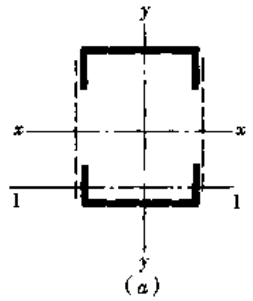
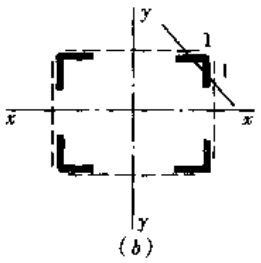
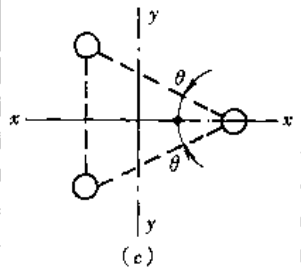
4. 对槽形截面用于格构式构件的分肢，计算分肢绕对称轴（y 轴）的稳定性时，不必考虑扭转效应，直接用 λ_y 查出 φ_y 值。

（2）轴心受压构件截面分类

因构件截面内存在残余应力，故其稳定性除与构件的长细比有关外，还与构件截面分类有关。构件截面分类见表 14-1。

2. 格构式轴心受力构件的计算公式见表 3-16，其换算长细比 λ_0 的计算公式见表 3-18。

格构式构件换算长细比计算公式　　**表 3-18**

项次	构件截面形式	缀材类别	计　算　公　式	符号说明
1	 （a）	缀板	$\lambda_{0x}=\sqrt{\lambda_x^2+\lambda_1^2}$　(3-55)	λ_x—整个构件对虚轴的长细比； λ_1—单肢对最小刚度轴 1-1 轴的长细比，其计算长度，对焊接结构取缀板间的净距离；对螺栓连接，为相邻两缀板边缘螺栓的距离； A_{1x}—构件横截面所截垂直于 x—x 轴的平面内各斜缀条的毛截面面积之和； λ_y—整个构件对 y 轴的长细比； A_{1y}—构件横截面所截垂直于 y—y 轴的平面内各斜缀条的毛截面面积之和； A_1—构件横截面所截各斜缀条的毛截面面积之和； θ—缀条所在平面和 x 轴的夹角
2		缀条	$\lambda_{0x}=\sqrt{\lambda_x^2+27\frac{A}{A_{1x}}}$　(3-56)	
3	 （b）	缀板	$\lambda_{0x}=\sqrt{\lambda_x^2+\lambda_1^2}$　(3-55) $\lambda_{0y}=\sqrt{\lambda_y^2+\lambda_1^2}$　(3-57)	
4		缀条	$\lambda_{0x}=\sqrt{\lambda_x^2+40\frac{A}{A_{1x}}}$　(3-58) $\lambda_{0y}=\sqrt{\lambda_y^2+40\frac{A}{A_{1y}}}$　(3-59)	
5	 （c）	缀条	$\lambda_{0x}=\sqrt{\lambda_x^2+\frac{42A}{A_1(1.5-\cos^2\theta)}}$　(3-60) $\lambda_{0y}=\sqrt{\lambda_y^2+\frac{42A}{A_1\cos^2\theta}}$　(3-61)	

（1）凡用缀条或缀板连接组或的格构式构件（包括轴心受力和偏心受力构件）对虚轴［表 3-18 中图（a）的 x—x 轴和图（b）的 x—x 轴和 y—y 轴］的长细比应取换算长细比，其值应按表 3-18 中所列公式计算。

对于缀条组合受压构件的分肢，其长细比不应大于 $0.7\lambda_{max}$（λ_{max}为构件两个方向的较长换算长细比）。

斜缀条与构件轴线间倾角应保持在 40°～70°范围内。

对于缀板组合构件的单肢长细比 λ_1，不应大于 40，并不应大于 $0.5\lambda_{max}$（当 $\lambda_{max}<50$ 时，取 $\lambda_{max}=50$）。

（2）格构式构件的缀条和缀板

为了保证格构式构件的整体工作，应对缀条和缀板的受力情况进行必要的计算并满足其构造要求：

1）缀条和缀板的内力计算

缀条和缀板的实际受力情况不容易确定。如轴心受压构件受力后的压缩、荷载和构造上的偶然偏心，以及失稳时的挠曲等都可能使缀条和缀板受力。通常可按轴心受压构件由于失稳出现弯曲时所产生的剪力来估算缀条和缀板的内力。

格构式轴心受压构件的剪力为

$$V = \frac{Af}{85}\sqrt{\frac{f_y}{235}} \tag{3-62}$$

式中 V——剪力（N）；

A——构件全部肢件的毛截面面积（mm^2）；

f_y——钢材的屈服点（N/mm^2）。

剪力 V 值可以认为沿构件全长不变，并由有关承受该剪力的缀材面（包括用整体板件连接的面）分担。

缀条的内力应按桁架腹杆计算。

缀条的内力的计算公式：

剪力

$$V' = \frac{V_b l}{a} \tag{3-63}$$

弯矩（与肢件连接处）

$$M = \frac{V_b l}{2} \tag{3-64}$$

式中 V_b——分配到一个缀材面的剪力；

l——缀板中心间的距离（图 3-6）；

a——肢件轴线间的距离（图 3-6）；

2）缀板的构造要求

缀板除按以上规定的内力进行强度验算及与柱肢的连接计算外，其尺寸尚应符合下列（图 3-6）要求：

$$h \geqslant \frac{2}{3}a$$

$t \geqslant \frac{1}{40}a$ 且 $t \geqslant 60mm$（对于普通钢结构）

$t \geqslant 3mm$（对于圆钢、小角钢结构的建议值）

式中 h——缀板的高度；

t——缀板的厚度。

3. 填板连接焊成的组合构件

在桁架和支撑中用填板连接成的双角钢（或双槽钢）组合构件，应按实腹式构件同样计算，但填板间的距离不应超过下列数值：

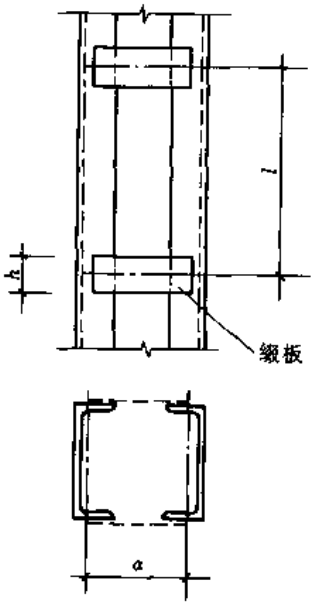


图 3-6 缀板组合构件

受压构件　$l \leqslant 40i$

受拉构件　$l \leqslant 80i$

式中　i——回转半径，按下列规定采用：

1）图 3-7（a）和（b）所示的截面，取一个角钢（或槽钢）平行于填板的形心轴的回转半径；

2）图 3-7（c）所示的截面，取一个角钢的最小回转半径；

l——填板间的距离，$l = l_n + b$。

受压构件在其两个侧向支承点之间的填板数不宜少于两个。

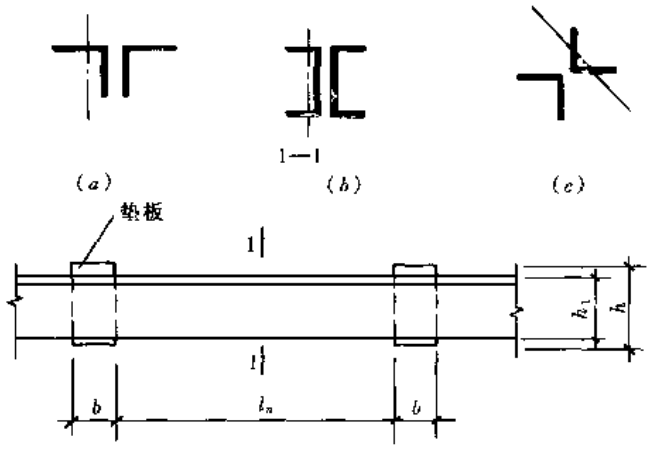


图 3-7　计算回转半径的截面轴线图

填板的尺寸按构造确定；填板沿构件轴线方向的宽度 b 应符合焊缝最小长度的要求，高度应满足布置焊缝厚度的要求，通常取 $h = h_1 + (15 \sim 20)$ mm（图 3-7c 除外）。

4. 用作减小轴心受压构件（柱）自由长度的支撑，当其轴线通过被支撑构件截面剪心时，沿被支撑构件屈曲方向的支撑力应按下列方法计算：

（1）长度为 l 的单根柱设置一道支撑时，支撑力 F_{bl} 为：

当支撑杆位于柱高度中央时

$$F_{bl} = N/60 \tag{3-65a}$$

当支撑杆位于距柱端 αl 处时（$0 < \alpha < 1$）

$$F_{bl} = \frac{N}{240\alpha(1-\alpha)} \tag{3-65b}$$

式中　N 为被支撑构件的最大轴心压力。

（2）长度为 l 的单根柱设置 m 道等间距（或间距不等但与平均间距相比相差不超过 20%）支撑时，各支承点的支撑力 F_{bm} 为

$$F_{bm} = N/[30(m+1)] \tag{3-66a}$$

（3）被撑构件为多根柱组成的柱列，在柱高度中央附近设置一道支撑时，支撑力应按下式计算：

$$F_{bu} = \frac{\Sigma N_i}{60}\left(0.6 + \frac{0.4}{n}\right) \tag{3-66b}$$

式中　n——柱列中被撑柱的根数；

ΣN_i——被撑柱同时存在的轴心压力设计值之和。

（4）当支撑同时承担结构上其他作用的效应时，其相应的轴力不与支撑力相叠加。

3.2.3　偏心受力构件计算内容

1. 强度；

2. 整体稳定（压弯构件）；

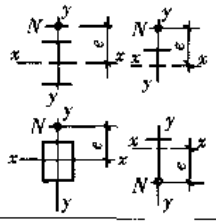
3. 局部稳定（压弯构件）。

3.2.4 偏心受力构件的强度和稳定计算

1. 实腹式偏心受力构件的计算

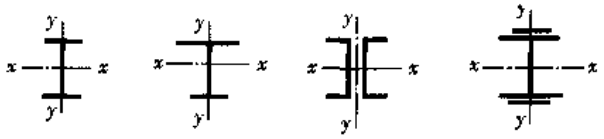
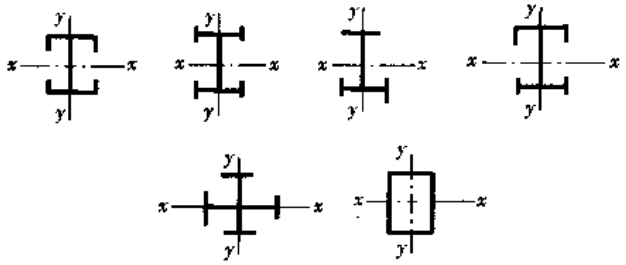
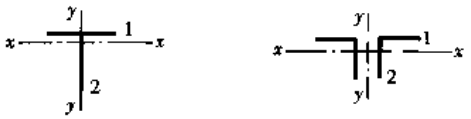
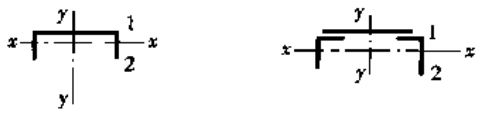
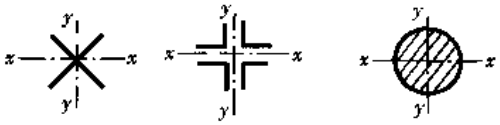
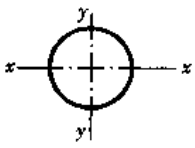
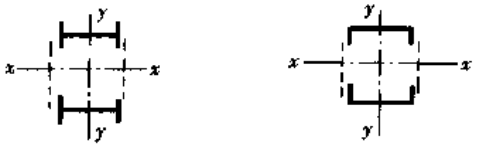
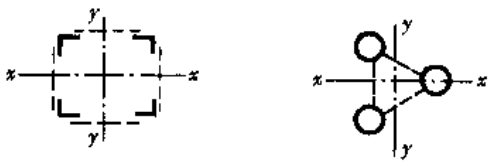
见表 3-19。

普通钢结构实腹式偏心受力构件的计算公式 表 3-19

项次	构件	计算内容	弯矩作用平面	计算公式	说明
1	偏心受拉构件	强度	弯矩作用在主平面	$\sigma=\frac{N}{A_n}\pm\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}}\pm\frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}}\leqslant f$ (3-67)	M_x、M_y—对 x 强轴和 y 弱轴构件段范围内的最大弯矩； W_{nx}、W_{ny}—对 x 轴和 y 轴的净截面模量； γ_x、γ_y—截面塑性发展系数，按表 3-20 采用，当压弯构件受压翼缘的自由外伸宽度与其厚度之比满足 $13\sqrt{235/f_y}<b/t<15\sqrt{235/f_y}$ 时，$\gamma_x=1.0$，需计算疲劳的构件 $\gamma_x=\gamma_y=1.0$； φ_x、φ_y—对 x 轴和 y 轴的轴心受压构件稳定系数，见表 14-2～14-9； $N'_{Ex}=\pi^2EA/(1.1\lambda_x^2)$ $N'_{Ey}=\pi^2EA/(1.1\lambda_y^2)$ W_{1x}、W_{1y}—对 x 轴较大受压翼缘和 y 轴的毛截面模量； β_{mx}、β_{my}—等效弯矩系数，均按弯矩作用平面内的有关规定计算，见本条 (1)； W_{2x}—对较小翼缘或无翼缘的毛截面模量； φ_b—均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，对工字形（含 H 型钢）和 T 形截面见表 3-4～表 3-9，对闭口截面 $\varphi_b=1$； φ_{bx}、φ_{by}—均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，对工字形（含 H 型钢），φ_{bx} 见表 3-4～表 3-9，φ_{by} 可取 1，闭口箱形截面 $\varphi_{bx}=\varphi_{by}=1$； η—调整系数，闭口截面取 0.7，其他截面取 1.0； β_{tx}、β_{ty}—等效弯矩系数，均按弯矩作用平面外的有关规定计算，见本条 (2)；
2		强度	弯矩作用在主平面	$\sigma=\frac{N}{A_n}\pm\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}}\pm\frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}}\leqslant f$ (3-67)	
3		弯矩作用平面内的整体稳定	弯矩作用在对称轴平面内（绕 x 轴）	$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1-0.8\frac{N}{N'_{Ex}}\right)}\leqslant f$ (3-68)	
4				$\left\lvert\frac{N}{A}-\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_{2x}\left(1-1.25\frac{N}{N'_{Ex}}\right)}\right\rvert\leqslant f$ (3-69) （仅适用于单轴对称截面，且对称轴平面内翼缘受压时）	
5		弯矩作用平面外的整体稳定		$\frac{N}{\varphi_y A}+\frac{\eta\beta_{tx}M_x}{\varphi_b W_{1x}}\leqslant f$ (3-70) 	
6	双向偏心受压构件	双向稳定（双轴对称）		$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1-0.8\frac{N}{N'_{Ex}}\right)}+\frac{\eta\beta_{ty}M_y}{\varphi_{by}W_{1y}}\leqslant f$ (3-71) $\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\eta\beta_{tx}M_x}{\varphi_{bx}W_{1x}}+\frac{\beta_{my}M_y}{\gamma_y W_{1y}\left(1-0.8\frac{N}{N'_{Ey}}\right)}\leqslant f$ (3-72)	翼缘的局部稳定同表 3-10。箱形截面按公式 (3-73a)、(3-73b) 右侧乘以 0.8，当小于 $40\sqrt{235/f_y}$ 时取 $40\sqrt{235/f_y}$。T 形截面弯矩使腹板自由边受拉时： 热轧剖分 T 形钢 $h_0/t_w\leqslant(15+0.2\lambda)\sqrt{235/f_y}$ 焊接 T 形钢 $h_0/t_w\leqslant(13+0.17\lambda)\sqrt{235/f_y}$ 弯矩使腹板自由边受压时， $\alpha_0\leqslant1.0$，$h_0/t_w\leqslant15\sqrt{235/f_y}$ $\alpha_0>1.0$，$h_0/t_w\leqslant18\sqrt{235/f_y}$ σ_{max}—腹板计算高度边缘的最大压应力，计算时不考虑稳定系数 φ 和截面塑性发展系数 γ； σ_{min}—腹板计算高度另一边缘相应的应力，压应力取正值，拉应力取负值； λ—弯矩作用平面内的长细比，当 $\lambda<30$ 时，取 $\lambda=30$；当 $\lambda>100$ 时，取 $\lambda=100$
7	偏心受压构件	局部稳定		$0\leqslant\alpha_0\leqslant1.6$ $\frac{h_0}{t_w}\leqslant(16\alpha_0+0.5\lambda+25)\sqrt{235/f_y}$ (3-73a) $1.6<\alpha_0\leqslant2.0$ $\frac{h_0}{t_w}\leqslant(48\alpha_0+0.5\lambda-26.2)\sqrt{235/f_y}$ (3-73b) $\alpha_0=\frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$	

注：同表 3-16 注。

截面塑性发展系数 γ_x、γ_y　　表 3-20

项次	截面形式	γ_x	γ_y
1		1.05	1.2
2			1.05
3		$\gamma_{x1}=1.05$ $\gamma_{x2}=1.2$	1.2
4			1.05
5		1.2	1.2
6		1.15	1.15
7		1.0	1.05
8			1.0

注：翼缘板外伸宽度 b 与其厚度 t 之比 $b/t \leqslant 13\sqrt{235/f_y}$。

(1) 等效弯矩系数 β_{mx} (β_{my})

1) 框架柱和两端支承的构件

A. 无横向荷载作用时：$\beta_{mx}(\beta_{my}) = 0.65 + 0.35\dfrac{M_2}{M_1}$，$M_1$ 和 M_2 为端弯矩，使构件产生同向曲率(无反弯点)时取同号，使构件产生反向曲率(有反弯点)时取异号，$|M_1| \geqslant |M_2|$；

B. 有端弯矩和横向荷载同时作用时：使构件产生同向曲率，β_{mx} (β_{my}) $= 1.0$；

使构件产生反向曲率，β_{mx} (β_{my}) $= 0.85$；

C. 无端弯矩但有横向荷载作用时：β_{mx} (β_{my}) $= 1.0$。

2) 悬臂构件，以及分析内力未考虑二阶效应的无支撑纯框架和弱支撑框架柱，β_{mx} (β_{my}) $= 1.0$

(2) 等效弯矩系数 β_{tx} (β_{ty})

1) 在弯矩作用平面外有支承的构件，应根据两相邻支承点间构件段内的荷载和内力情况确定；

A. 所考虑构件段无横向荷载作用时：

β_{tx} (β_{ty}) $= 0.65 + 0.35\dfrac{M_2}{M_1}$，$M_1$ 和 M_2 是在弯矩作用平面内的端弯矩，使构件段产生同向曲率时取同号，产生反向曲率时取异号，$|M_1| \geqslant |M_2|$；

B. 所考虑构件段内有端弯矩和横向荷载同时作用时：

使构件段产生同向曲率，β_{tx} (β_{ty}) $= 1.0$；

使构件段产生反向曲率时，β_{tx} (β_{ty}) $= 0.85$；

C. 所考虑构件段内无端弯矩但有横向荷载作用时，β_{tx} (β_{ty}) $= 1.0$。

2) 弯矩作用平面外为悬臂构件，β_{tx} (β_{ty}) $= 1.0$。

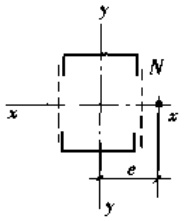
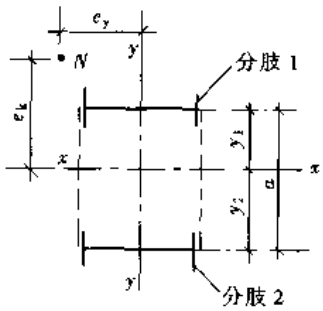
2. 格构式偏心受力构件的稳定性计算

见表 3-21。

普通钢结构格构式偏心受压构件的稳定性计算公式 **表 3-21**

项次	弯矩作用平面		计算内容	计算公式		说明
1	弯矩作用在和缀材面平行的主平面内时(绕虚轴 x)	(a)	弯矩作用平面内的稳定性	$\dfrac{N}{\varphi_x A} + \dfrac{\beta_{mx} M_x}{W_{1x}\left(1 - \varphi_x \dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)} \leqslant f$ (3-74)		M_x、M_y—对 x 轴和 y 轴的最大弯矩； $N'_{Ex} = \pi^2 EA/(1.1\lambda_{0x}^2)$ φ_x—对 x 强轴的轴心受压构件稳定系数，应取换算长细比 λ_{0x} y_1—取 x 轴到较大压力肢轴线的距离或者至较大肢腹板外边缘的距离(本表图 a、b)； $W_{1x} = \dfrac{I_x}{y_1}$ 其中 I_x 为对 x 轴的毛截面惯性矩。 肢件 1 的轴心力为 $N_1 = \dfrac{y_2 + e}{a} N$ (图 a) 肢件 2 的轴心力为 $N_2 = N - N_1$ 其中 N 为构件全截面的轴压力；y_2 为构件轴线至肢件 2 轴线的距离。
2			弯矩作用平面外的稳定性	不必计算		
3		(b)	柱身单肢的稳定性(可不计算整个截面平面外稳定性)	缀条柱	分别按 N_1 和 N_2 计算肢件 1 和肢件 2 的轴心受压稳定性	
4				缀板柱	分别按 N_1 和 M_1，N_2 和 M_2 计算肢件 1 和肢件 2 的偏心受压稳定性	

续表

项次	弯矩作用平面		计算内容	计　算　公　式	说　明
5	弯矩作用在和缀材面垂直的主平面内时		弯矩作用平面内的稳定性	按表3-19的实腹式构件公式计算	缀板柱单肢中由于剪力引起的局部弯矩为 $M_1=\frac{V_b l}{2}$ 其中 V_b 为分配到一个缀材面的剪力；l 为缀板中心间距。 β_{mx}—等效弯矩系数，按弯矩作用平面内的有关规定计算； β_{ty}—按弯矩作用平面外的有关规定计算； I_1、I_2—分肢1、分肢2对 y 轴的惯性矩； y_1、y_2—M_y 作用主平面至分肢1、分肢2轴线的距离； W_{1x}、W_{1y}—对强轴和弱轴的毛截面模量。 缀板柱单肢中的局部弯矩 M_1 同上。缀材应取构件实际剪力和按公式（3-62）规定的剪力两者中较大值进行计算
6			弯矩作用平面外的稳定性	按表3-19的实腹式闭合截面计算，但长细比应按表3-18取换算长细比，φ_b 取1.0	
7	双向弯矩		双向稳定性	$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{W_{1x}\left(1-\varphi_x\frac{N}{N'_{Ex}}\right)}+\frac{\beta_{ty}M_y}{W_{1y}}\leqslant f$　(3-75)	
			柱身单肢的稳定性	分肢1 $M_{y1}=\frac{I_1/y_1}{I_1/y_1+I_2/y_2}M_y$　(3-76a) 分肢2 $M_{y2}=\frac{I_2/y_2}{I_1/y_1+I_2/y_2}M_y$　(3-76b)	

3.2.5　构件计算长度

1. 确定桁架弦杆和单系腹杆的长细比时，其计算长度 l_0 应按表3-22的规定采用。

桁架弦杆和单系腹杆的计算长度 l_0　　表3-22

项　次	弯　曲　方　向	弦　杆	腹　杆	
			支座斜杆和支座竖杆	其他腹杆
1	在桁架平面内	l	l	$0.8l$
2	在桁架平面外	l_1	l	l
3	斜　平　面	—	l	$0.9l$

注：1. l 为构件的几何长度（节点中心间距离）；l_1 为桁架弦杆侧向支承点之间的距离。

2. 第3项斜平面系指与桁架平面斜交的平面，适用于构件截面两主轴均不在桁架平面内的单角钢腹杆和双角钢十字形截面腹杆。

3. 无节点板的腹杆计算长度在任意平面内均取其等于几何长度（钢管结构除外）。

如桁架弦杆侧向支承点之间的距离为节间长度的2倍（图3-8），且侧向支承点之间的轴心压力有变化时，则该弦杆在桁架平面外的计算长度应按下式确定：

$$l_0=l_1\left(0.75+0.25\frac{N_2}{N_1}\right)\qquad(3\text{-}77)$$

但不小于 $0.5l_1$。

式中 N_1——较大的压力，计算时取正值；

N_2——较小的压力或拉力，计算时压力取正值，拉力取负值。

桁架再分式腹杆体系的受压主斜杆（图 3-9a）及 K 形腹杆体系的竖杆（图 3-9b）等，在桁架平面外的计算长度也应按公式（3-77）确定（受拉主斜杆仍取 l_1）；在桁架平面内的计算长度则取节点中心间距离。

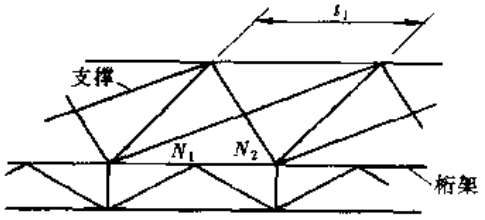


图 3-8 弦杆轴心压力在侧向支承点之间有变化的桁架简图

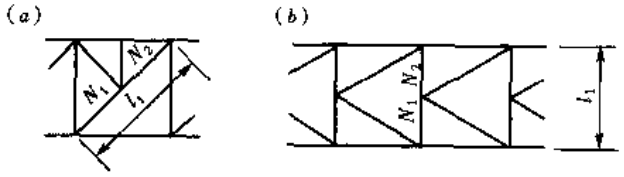


图 3-9 受压腹杆压力有变化的桁架简图

（a）再分式腹杆体系的受压主斜杆；（b）K 形腹杆体系的竖杆

2. 确定交叉腹杆的长细比时，在桁架平面内的计算长度应取节点中心到交叉点间的距离，在桁架平面外的计算长度；当两交叉杆长度相等并在交叉点相互连接时，应按表 3-23采用。

两交叉杆在桁架平面外计算长度 l_0 表 3-23

项次	杆件类别	交叉点连接方式	计 算 公 式	说 明
1	压杆	（1）相交另一杆受压，两杆截面相同并在交叉点均不中断； （2）相交另一杆受压，两杆截面相同并在交叉点中断，但以节点板搭接； （3）相交另一杆受拉，并在交叉点均不中断； （4）相交另一杆受拉，此拉杆在交叉点中断但以节点板搭接； 当此拉杆连续而压杆在交叉点中断，但以节点板搭接	$l_0 = l\sqrt{\frac{1}{2}\left(1+\frac{N_0}{N}\right)}$ $l_0 = l\sqrt{1+\frac{\pi^2 N_0}{12N}}$ $l_0 = l\sqrt{\frac{1}{2}\left(1-\frac{3}{4}\frac{N_0}{N}\right)} \geqslant 0.5l$ $l_0 = l\sqrt{1-\frac{3}{4}\frac{N_0}{N}} \geqslant 0.5l$ $N_0 \geqslant N$ 或拉杆在桁架平面外的抗弯刚度 $EI_y I_T \geqslant \frac{3N_0 l^2}{4\pi^2}\left(\frac{N_0}{N}-1\right)$ 时，$l_0 = 0.5l$	l—节点中心间距离（交叉点不作为节点考虑）； N—所计算杆的内力； N_0—相交另一杆的内力。 （1）以上内力均为绝对值。 （2）两杆均受压时 $N_0 \leqslant N$，两杆截面应相同。 （3）当确定交叉腹杆中单角钢斜平面内的长细比时，计算长度应取节点中心至交叉点的距离
2	拉杆	—	$l_0 = l$	

3. 等截面压杆和单层或多层框架等截面柱在框架平面内的计算长度应按下式确定：

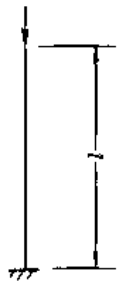
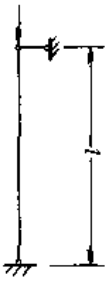
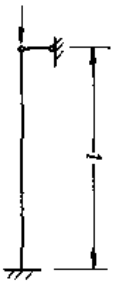
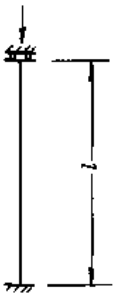
$$l_0 = \mu l \tag{3-78}$$

式中 l——压杆或柱的长度或高度；

μ——计算长度系数，对于压杆按表 3-24 采用，对于单层或多层框架柱分为无支撑的纯框架和有支撑框架，其中有支撑框架根据抗侧移刚度大小，分为强支撑框架和弱支撑

框架见表 3-25。

等截面压杆的计算长度系数 μ　　表 3-24

项　次	1	2	3	4	5
杆端连接方式					
μ	2.0	1.0	0.7	0.5	1.0

框架柱的计算长度系数 μ　　表 3-25

项次	框架类别	计　算　公　式	说　明
1	无支撑纯框架	(1) 一阶一弹性分析法计算内力 μ 按表 15-2 有侧移框架柱的计算长度系数采用。 (2) 二阶弹性分析法计算内力时每层柱顶考虑附加假想水平力 H_{ni}，$\mu = 1$ $$H_{ni} = \frac{\alpha_y Q_i}{250}\sqrt{0.2+\frac{1}{n_s}} \quad (3\text{-}79)$$	Q_i—i 层总重力荷载； n_s—框架总层数，$\sqrt{0.2+1/n_s} \leqslant 1$； α_y—钢材强度影响系数，Q235 为 1，Q345 为 1.1，Q390 为 1.2，Q420 为 1.25； ΣN_{bi}、ΣN_{0i}—第 i 层层间所有框架柱用无侧移框架和有侧移框架柱计算长度系数（表 15-1，15-2）算得的轴压杆稳定承载力之和； φ_1、φ_0—按表 15-1，15-2 中无侧移框架和有侧移框架柱计算长度系数算得的轴压杆稳定系数； S_b—支撑结构的侧移刚度产生单位侧倾角的水平力
2	有支撑框架	(1) 强支撑框架（支撑桁架、剪力墙、电梯井等） $$S_b \geqslant 3(1.2\Sigma N_{bi} - \Sigma N_{0i}) \quad (3\text{-}80a)$$ μ 按表 15-1 无侧移框架柱的计算长度系数采用。 (2) 弱支撑框架 $$S_b < 3(1.2\Sigma N_{bi} - \Sigma N_{0i}) \quad (3\text{-}80b)$$ 框架柱的轴压杆稳定系数 φ： $$\varphi = \varphi_0 + (\varphi_1 - \varphi_0)\frac{S_b}{3(1.2\Sigma N_{bi} - \Sigma N_{0i})} \quad (3\text{-}81)$$	

4. 单层房屋框架下端刚性固定的阶形柱在框架平面内的计算长度

(1) 计算长度系数 μ 按表 3-26 确定。

单层房屋阶形柱的计算长度系数 μ　　表 3-26

项次	柱阶数	柱顶约束情况	计算长度系数 μ	说　明
1	单阶	铰接（下柱 μ_2）	按表 15-3（上端自由的单阶柱）乘以表 3-27 的折减系数 α	截面均匀变化的楔形柱，其计算长度的取值参见国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018—2002
2	单阶	刚接（下柱 μ_2）	按表 15-4（上端可移动但不转动的单阶柱）乘以表 3-27 的折减系数 α	
3	单阶	上柱 μ_1	$\mu_1 = \mu_2/\eta_1$ (3-82a) η_1 按表 15-3，15-4 中公式计算	

续表

项次	柱阶数	柱顶约束情况	计算长度系数 μ	说　明
4	双阶	铰接（下柱 μ_3）	按表 15-5（柱上端为自由的双阶柱）乘以表 3-27 的折减系数 α	
5	双阶	刚接（下柱 μ_3）	按表 15-6（柱上端可移动但不转动的双阶柱）乘以表 3-27 的折减系数 α	
6	双阶	上段柱 μ_1 和中段柱 μ_2	$\mu_1 = \mu_3/\eta_1$ (3-82b) $\mu_2 = \mu_3/\eta_2$ (3-82c) η_1、η_2 按表 15-5，15-6 中的公式计算	

（2）计算长度折减系数 α

单层厂房阶形柱计算长度折减系数 α　　表 3-27

厂房类型				折减系数 α
单跨或多跨	纵向温度区段内一个柱列的柱数	屋面情况	厂房两侧是否有通长的屋盖纵向支平支撑	
单跨	等于或少于 6 个	—	—	0.9
	多于 6 个	非大型混凝土屋面板屋面	无纵向水平支撑	0.9
			有纵向水平支撑	0.8
		大型混凝土屋面板屋面	—	0.8
多跨	—	非大型混凝土屋面板的屋面	无纵向水平支撑	0.8
			有纵向水平支撑	0.7
		大型混凝土屋面板的屋面	—	0.7

注：有横梁的露天结构（如落锤车间等），其折减系数可采用 0.9。

（3）柱和横梁惯性矩的修正，当计算框架的格构式柱和桁架式横梁的惯性矩时，应考虑柱或横梁截面高度变化和缀件（或腹杆）变形的影响。

（4）框架柱计算长度的修正

1）附有摇摆柱（两端铰接柱）的无支撑纯框架和弱支撑框架柱柱的计算长度系数应乘以增大系数 η

$$\eta = \sqrt{1 + \frac{\Sigma(N_l/H_l)}{\Sigma(N_f/H_f)}} \tag{3-83}$$

式中　$\Sigma(N_f/H_f)$ ——各框架柱轴心压力设计值与柱高度比值之和；

$\Sigma(N_l/H_l)$ ——各摇摆柱轴心压力设计值与柱高度比值之和。

摇摆柱的计算长度取其几何长度。

2）当与计算柱同层的其他柱或与计算柱连续的上、下层柱的稳定承载力有潜力时，可利用这些柱的支持作用，对计算柱的长度系数进行折减，提供支持作用的柱的计算长度也相应增大。

3）当梁与柱的连接为半刚性构造时，确定柱计算长度应考虑节点连接的特性。

5. 框架柱沿平面外的计算长度

应取阻止框架平面外位移的支承点之间的距离。

3.3 疲 劳 计 算

3.3.1 疲劳计算的范围

1. 承受动力荷载重复作用的钢结构构件及其连接，当应力变化的循环次数 n 等于或大于 5×10^4 次，且出现拉应力的部位。

2. 重级工作制吊车梁和重、中级工作制吊车桁架。

3.3.2 疲劳计算的方法

采用容许应力幅法。应力按弹性状态计算，容许应力幅［$\Delta\sigma$］按构件和连接类别以及应力循环次数确定。构件和连接类别按表 3-31 采用。

1. 常幅疲劳，应按下式计算

$$\Delta\sigma \leqslant [\Delta\sigma] \tag{3-84}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \alpha\sigma_{min} \tag{3-85}$$

式中　$\Delta\sigma$——对焊接部位为应力幅 $\Delta\sigma=\sigma_{max}-\sigma_{min}$；对非焊接部位为折算应力幅 $\Delta\sigma=\sigma_{max}-0.7\sigma_{min}$；

σ_{max}——计算部位每次应力幅中最大拉应力（正值）；

σ_{min}——计算部位每次应力幅中最小拉应力或压应力（拉应力取正，压应力取负值）；

［$\Delta\sigma$］——常幅疲劳的容许应力（N/mm^2）按公式（3-86）计算或从表 3-29 查得：

$$[\Delta\sigma] = \left(\frac{C}{n}\right)^{1/\beta} \tag{3-86}$$

n——应力循环次数；

C，β——参数，按表 3-28 采用。

参数 C，β　　表 3-28

构件和连接类别	1	2	3	4	5	6	7	8
C	1940×10^{12}	861×10^{12}	3.26×10^{12}	2.18×10^{12}	1.47×10^{12}	0.96×10^{12}	0.65×10^{12}	0.41×10^{12}
β	4	4	3	3	3	3	3	3

注：公式（3-84）也适用于剪应力情况。

容许应力幅［$\Delta\sigma$］（N/mm^2）　　表 3-29

构件和连接类别 / 循环次数	1	2	3	4	5	6	7	8
1×10^5	373	305	319	279	245	213	187	160
2×10^5	314	256	254	222	194	169	148	127
3×10^5	284	231	221	194	170	147	129	111
4×10^5	264	215	201	176	154	134	118	101
5×10^5	250	204	187	163	143	124	109	94

续表

构件和连接类别 / 循环次数	1	2	3	4	5	6	7	8
6×10^5	238	195	176	154	135	117	103	88
7×10^5	229	187	167	146	128	111	98	84
8×10^5	222	181	160	140	122	106	93	80
9×10^5	215	176	154	134	118	102	80	77
10×10^5	209	171	148	130	114	99	87	74
11×10^5	205	167	144	126	110	96	84	72
12×10^5	201	164	140	122	107	93	82	70
13×10^5	197	160	136	119	104	90	79	68
14×10^5	193	157	133	116	102	88	77	66
15×10^5	190	155	130	113	99	86	76	65
16×10^5	187	152	127	111	97	84	74	64
17×10^5	184	150	124	109	95	83	73	62
18×10^5	181	148	122	107	93	81	71	61
19×10^5	178	146	120	105	92	80	70	60
20×10^5	176	144	118	103	90	78	69	59

注：表中的容许应力幅是按公式（3-86）算出的。

2. 重级工作制吊车梁和重级、中级工作制吊车桁架的疲劳可作为常幅疲劳按第 8 章计算。

$$\alpha_f\Delta\sigma \leqslant [\Delta\sigma]_{2\times10^6} \tag{3-87}$$

式中 α_f——欠载效应的等效系数，按表 3-30 采用；

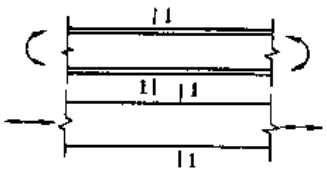
$[\Delta\sigma]_{2\times10^6}$——循环次数 n 为 2×10^6 次的容许应力幅，按表 3-29 末行采用。

3. 对于特殊条件（如构件表面温度大于 150℃、外于海水腐蚀环境、焊后经热处理消除残余应力及低周一高应变疲劳条件等）的结构构件及其连接的疲劳容许应力幅应另行确定。

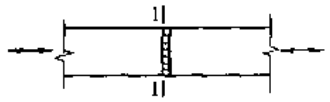
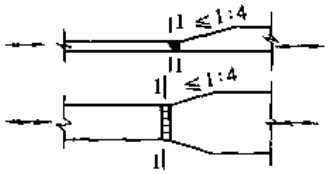
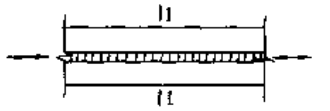
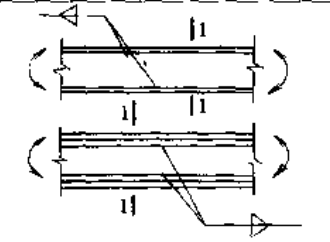
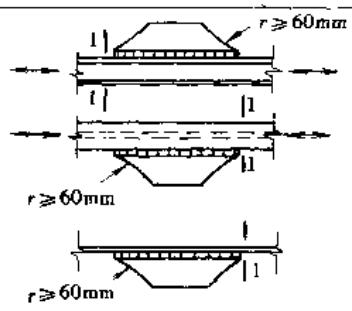
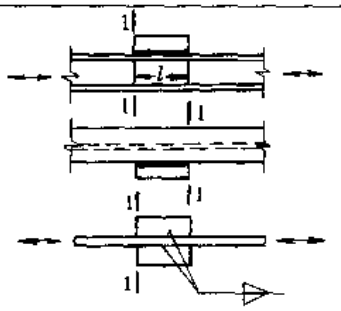
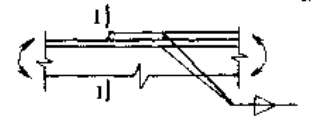
吊车梁和吊车桁梁欠载效应的等效系数 α_f 表 3-30

序　号	吊　车　类　别	α_f
1	重级工作制硬钩吊车（如均热炉车间夹钳吊车）	1.0
2	重级工作制软钩吊车	0.8
3	中级工作制吊车	0.5

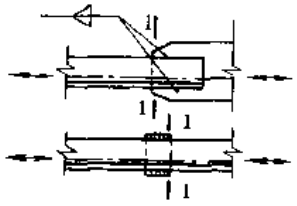
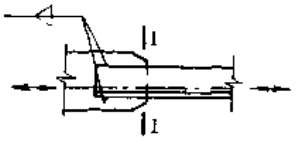
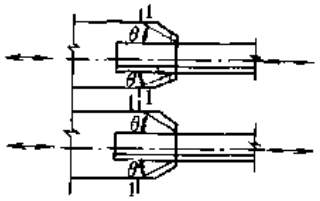
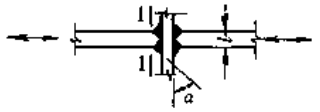
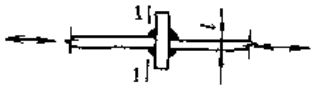
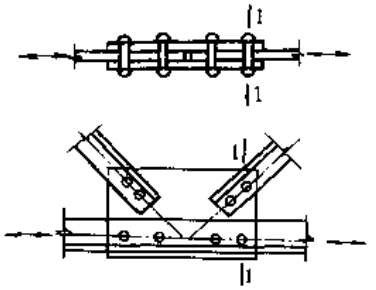
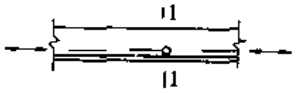
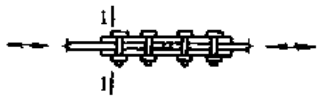
构件和连接分类 表 3-31

序号	简　图	说　明	类别
1		无连接处的主体金属 （1）轧制工字钢； （2）钢板： （a）两边为轧制边或刨边； （b）两侧为自动、半自动切割边（切割质量标准应符合《钢结构工程施工质量验收规范》（GB50205—2001）	1 1 2

续表

序号	简　图	说　明	类别
2		横向对接焊缝附近的主体金属 （1）符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205—2001的一级焊缝； （2）焊缝经加工、磨平的一级焊缝	3 2
3		不同厚度（或宽度）横向对接焊缝附近的主体金属，焊缝加工成平滑过渡并符合一级焊缝标准	2
4		纵向对接焊缝附近的主体金属，焊缝符合二级焊缝标准	2
5		翼缘连接焊缝附近的主体金属 （1）翼缘板与腹板的连接焊缝 （a）自动焊，二级T形对接和角接组合焊缝； （b）自动焊，角焊缝，外观质量符合二级； （c）手工焊，角焊缝，外观质量符合二级。 （2）双层翼缘板之间的连接焊缝 （a）自动焊，角焊缝，外观质量符合二级； （b）手工焊，角焊缝，外观质量符合二级	 2 3 4 3 4
6		横向加劲肋端部附近的主体金属 （1）肋端不断弧（采用回焊）； （2）肋端断弧	 4 5
7		梯形节点板用对接焊缝焊于梁翼缘、腹板以及桁架构件处的主体金属，过渡处在焊后铲平、磨光，成圆滑过渡，不得有焊接起弧、灭弧缺陷	5
8		矩形节点板焊接于构件翼缘或腹板处的主体金属，$l>150mm$	7
9		翼缘板中断处的主体金属（板端有正面焊缝）	7
10		向正面角焊缝过渡处的主体金属	6

续表

序号	简图	说明	类别
11		两侧面角焊缝连接端部的主体金属	8
12		三面围焊的角焊缝端部主体金属	7
13		三面围焊或两侧面角焊缝连接的节点板主体金属（节点板计算宽度按扩散角 θ 等于 30°考虑）	7
14		K 形坡口 T 形对接与角接组合焊缝处的主体金属，两板轴线偏离小于 $0.15t$，焊缝为二级，焊趾角 $\alpha \leqslant 45°$	5
15		十字形接头角焊缝处的主体金属，两板轴线偏离小于 $0.15t$	7
16	角焊缝	按有效截面确定的剪应力幅计算	8
17		铆钉连接处的主体金属	3
18		连系螺栓和虚孔处的主体金属	3
19		高强度螺栓摩擦型连接处的主体金属	2

注：1. 所有对接焊缝及 T 形对接和角接组合焊缝均需焊透。所有焊缝外形尺寸均应符合现行国家标准《钢结构焊缝外形尺寸》GB10854 的规定。

2. 角焊缝应满足图 4-2 和表 4-7 的要求。

3. 项次 16 中的剪应力幅 $\Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}$，其中 τ_{min} 的正负值为：与 τ_{max} 同方向时，取正值；与 τ_{max} 反方向时，取负值。

4. 项次 17、18 中的应力应以净截面面积计算，项次 19 应以毛截面面积计算。

3.4 塑 性 设 计

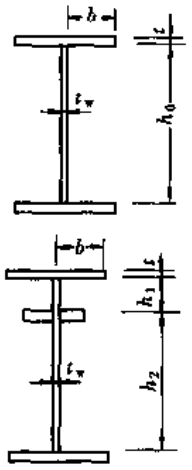
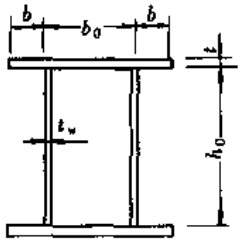
3.4.1 塑性设计的范围

1. 不直接承受动力荷载的固端梁和连续梁；
2. 不直接承受动力荷载的由实腹构件组成的单层和两层框架结构；
3. 受弯和压弯构件的承载能力极限状态。

3.4.2 构造要求

见表 3-32。

板 的 构 造 要 求　　表 3-32

项次	截面形式	翼　缘	腹　板	材　质	说　明
1		$\frac{b}{t}\leqslant 9\sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$\frac{N}{Af}<0.37$ 时： $\frac{h_0}{t_w}\left(\frac{h_1}{t_w},\ \frac{h_2}{t_w}\right)\leqslant\left(72-100\frac{N}{Af}\right)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-88a) $\frac{N}{Af}\geqslant 0.37$ 时： $\frac{h_0}{t_w}\left(\frac{h_1}{t_w},\ \frac{h_2}{t_w}\right)\leqslant 35\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-88b)	$f_u/f_y\geqslant 1.2$ $\delta_5\geqslant 15\%$ $\varepsilon_u\geqslant 20\varepsilon_y$	f_u，f_y—钢材抗拉强度和屈服点； δ_5—伸长率； ε_u，ε_y—抗拉极限和屈服点应变值； $\lambda_y=\frac{l_1}{i_y}$ 其中 l_1 为侧向支承点距离； M_1—与塑性铰相距为 l_1 的侧向支承点处的弯矩，当长度 l_1 内为同向曲率时 $M_1/(W_{px}f)$ 为正，反向曲率时 $M_1/(W_{px}f)$ 为负。 构件拼接处应能承受的 $[M]\geqslant 1.1M\geqslant 0.25W_{px}f$ W_{px}见表 3-33
2		$\frac{b_0}{t}\leqslant 30\sqrt{\frac{235}{f_y}}$	同上		
3			构件：$\lambda\leqslant 130\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-89) 塑性铰处： $-1\leqslant\frac{M_1}{W_{px}f}\leqslant 0.5$ 时：$\lambda_y\leqslant\left(60-40\frac{M_1}{W_{px}f}\right)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-90a) $0.5<\frac{M_1}{W_{px}f}\leqslant 1.0$ 时：$\lambda_y\leqslant\left(45-10\frac{M_1}{W_{px}f}\right)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-90b)		

注：1. 所有节点及其连接应有足够刚度，以保证出现塑性铰前节点处各构件间夹角保持不变。

2. 板件采用手工气割或剪切机切割时，应将出现塑性铰部位的边缘刨平。

3. 当螺栓孔位于构件塑性铰部位的受拉板件上时，应采用钻成孔成先冲后扩钻孔。

3.4.3 构件的强度和稳定计算

见表 3-33。

塑性设计计算公式 表 3-33

项次	构件	弯矩作用平面	计算内容	计算公式	说明
	受弯构件	弯矩作用在一个主平面（工字形截面 x 为强轴）	强度	$M_x \leqslant W_{pnx} f$ (3-91) $V \leqslant h_w t_w f_v$ (3-92)	W_{px}、W_{pnx}—对 x 轴塑性毛截面和净截面模量； A_n、A—净截面和毛截面面积； f_v—钢材抗剪强度设计值； 其余符号见表 3-19。 用作减少构件弯矩作用平面外计算长度的侧向支撑其轴力应按式（3-65）和式（3-66）计算
	偏心受压构件（压弯）		强度	$\frac{N}{A_n f} \leqslant 0.13$ 时， $M_x \leqslant W_{pnx} f$ (3-91) $\frac{N}{A_n f} > 0.13$ 时， $M_x \leqslant 1.15\left(1-\frac{N}{A_n f}\right) W_{pnx} f$ (3-93) $N \leqslant 0.6 A_n f$ (3-94) $V \leqslant h_w t_w f_v$ (3-92)	
			平面内稳定性	$\frac{N}{\varphi_x A f} + \frac{\beta_{mx} M_x}{W_{px} f\left(1-0.8\frac{N}{N_{Ex}}\right)} \leqslant 1$ (3-95)	
			平面外稳定性	$\frac{N}{\varphi_y A f} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_{px} f} \leqslant 1$ (3-96)	

4 连　　接

4.1 焊　　接

4.1.1 焊缝质量等级

焊缝应根据结构的重要性、荷载特性、焊缝形式、工作环境以及应力状态等情况按下述原则分别选用不同的质量等级：

1. 在需要进行疲劳计算的构件中，凡对接焊缝均应焊透，其质量等级为：

1）作用力垂直于焊缝长度方向的横向对接焊缝或T形对接与角接组合焊缝，受拉时应为一级，受压时应为二级；

2）作用力平行于焊缝长度方向的纵向对接焊缝应为二级。

2. 不需要计算疲劳的构件中，凡要求与母材等强的对接焊缝应予焊透。其质量等级当受拉时应不低于二级，受压时宜为二级。

3. 重级工作制和起重量 $Q \geqslant 50t$ 的中级（A5）工作制吊车梁的腹板与上翼缘之间以及吊车桁架上弦杆与节点板之间的T形接头焊缝均要求焊透，焊缝形式一般为对接与角接的组合焊缝，其质量等级不应低于二级。

4. 不要求焊透的T形接头采用的角焊缝或部分焊透的对接与角接组合焊缝，以及搭接连接采用的角焊缝，其质量等级为：

1）对直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构和吊车起重量等于或大于50t的中级（A5）工作制吊车梁，焊缝的外观质量标准应符合二级；

2）对其他结构，焊缝的外观质量标准可为三级。

4.1.2 焊接连接形式

常用的焊接连接形式见图4-1。

图4-1（a）（b）用于构件拼接；图4-1（a）为正焊缝，为充分发挥截面强度也可采用斜焊缝。图4-1（d）为侧焊缝。图4-1（c）（d）（j）（l）为搭接传力连接；图4-1（c）（j）（l）为单面搭接连接，焊缝存在偏心。

4.1.3 完全焊透的对接焊缝截面形式

对接焊缝主要用于刚架梁、柱的翼缘板和腹板的连接，它通常有五种截面形式：不开坡口的矩形、开剖口的V形、X形、U形及K形（表4-1）。这种焊缝的优点是：用料经济、传力均匀，没有显著的应力集中（对于承受动力荷载作用的结构采用对接焊缝最为有利）。它的缺点是：施焊时要使杆件保持一定的间隙，板边切割加工尺寸要求较严，对于较厚的构件还需加工坡口。

4.1.4 角焊缝的截面形式

1.T形接头的直角角焊缝截面形式见图4-2。

2.T形接头的斜角角焊缝截面形式见图4-3。

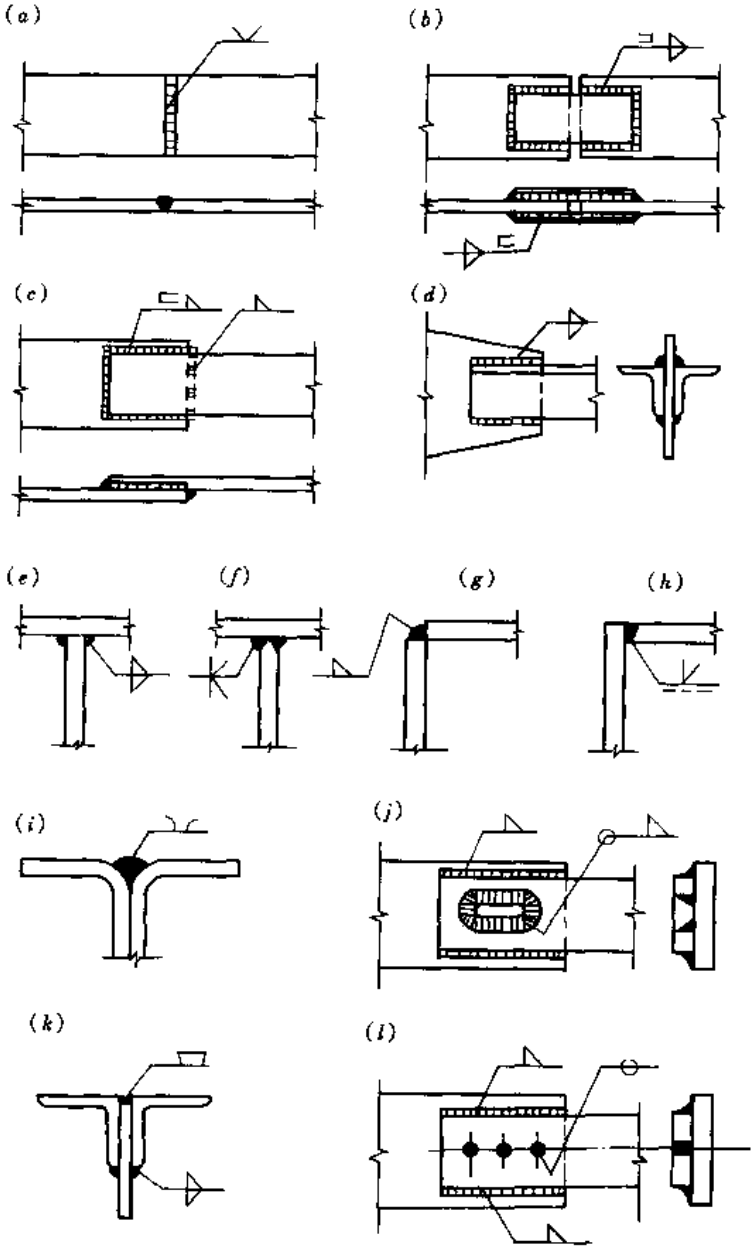


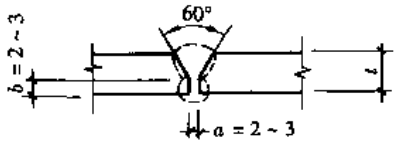
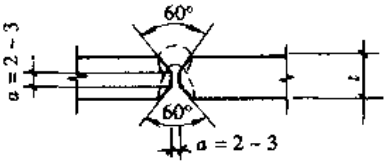
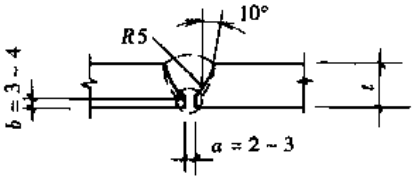
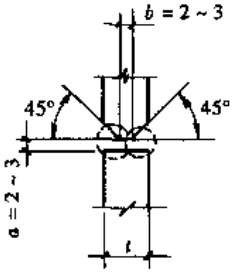
图 4-1 焊接连接形式

(a)、(b)、(i) 平接；(c)、(d)、(j)、(k)、(l) 搭接；
(e)、(f) T形连接；(g)、(h) 角接连接

对接焊缝的截面形式 表 4-1

项次	焊缝形式	截面图形（mm）	钢板厚度 t（mm）	说　明
1	不开坡口	$a = 0.5 \sim 2$	≤10	板厚 5mm 以下可单面焊，6～10mm 须双面焊

续表

项次	焊缝形式	截面图形（mm）	钢板厚度 t（mm）	说　明
2	V形缝		10 ~ 20	焊缝根部需作补焊
3	X形缝		> 20	
4	U形缝		> 20	用于不能双面焊时，焊缝根部需作补焊
5	K形缝		> 20	用于立焊时的水平焊缝

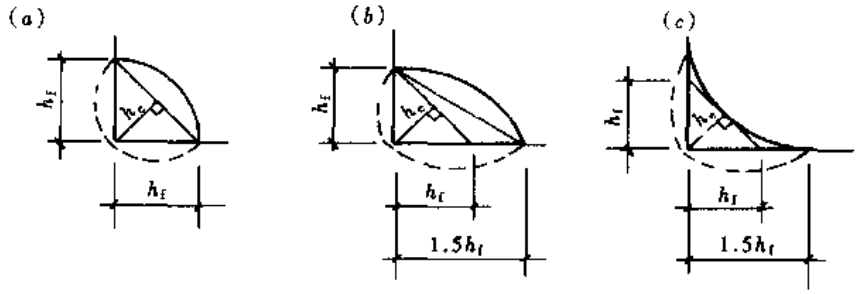


图 4-2　直角角焊缝截面

（a）、（b）、（c）直角角焊缝

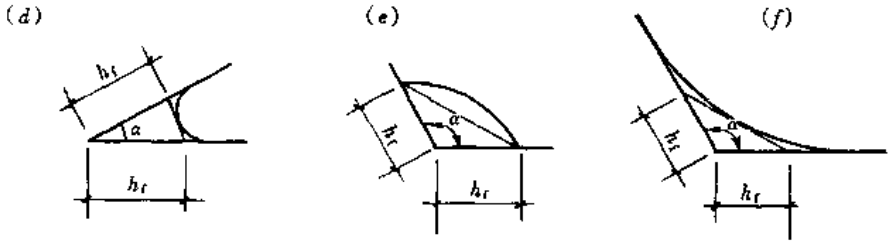


图 4-3 斜角角焊缝截面

(d)、(e)、(f) 斜角角焊缝

图中 $60° \leqslant \alpha \leqslant 135°$

3.T形接头的接头的根部间隙和焊缝截面见图 4-4。

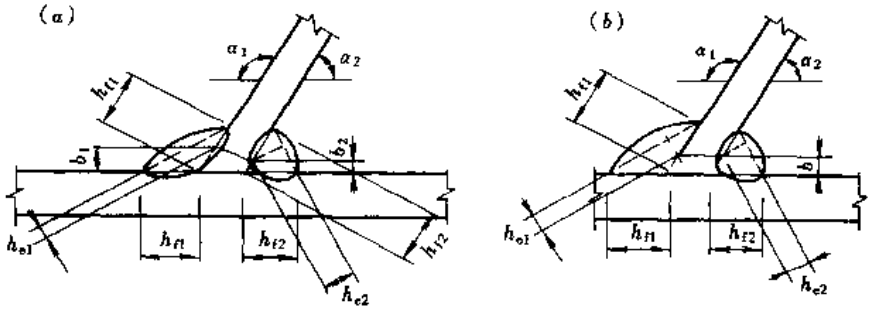


图 4-4 T形接头的根部间隙和焊缝截面（h_e 见表 4-3 说明）

4.1.5 部分焊透的对接焊缝和 T 形对接与角焊缝组合焊缝

见图 4-5。

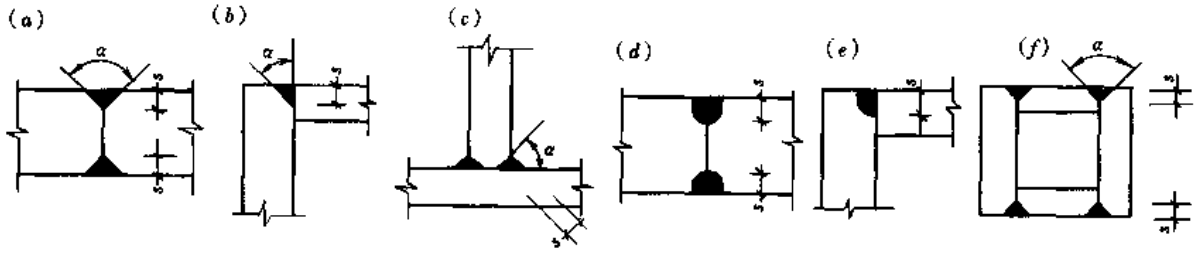


图 4-5 部分焊透的对接焊缝和其与角焊缝的组合焊缝截面

(a)、(b)、(c)、(f) V形坡口；(d) U形坡口；(e) J形坡口

图 4-5 中除图（c）为 T 形对接与角焊缝组合焊缝外余均为对接焊缝。

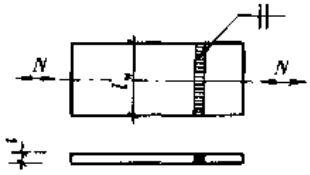
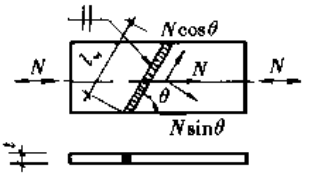
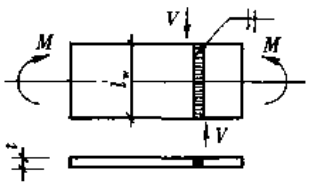
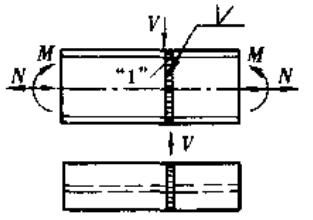
4.1.6 对接焊缝和角焊缝的连接计算

1. 完全焊透的对接焊缝和 T 形连接焊缝，应按表 4-2 所列公式计算强度。

2. 角焊缝的连接应按表 4-3 公式计算强度

3. 部分焊透的对接焊缝（图 4-5a、b、c、d、e、f）或 T 形接头与角焊缝组合焊缝（4-5c）的强度，应按表 4-3 的角焊缝计算公式计算，但在垂直于焊缝长度方向的压力作用下取 $\beta_f = 1.22$，其他受力情况下取 $\beta_f = 1.0$，其计算厚度见表 4-4。

完全焊透的对接焊缝和T形连接焊缝的强度计算公式　　表4-2

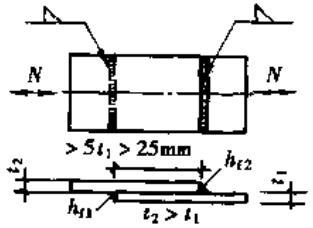
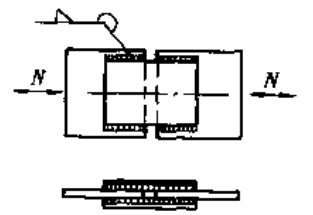
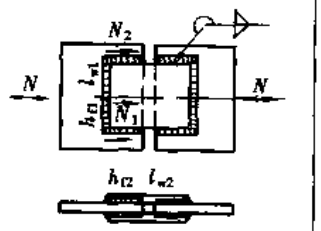
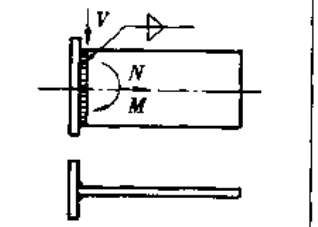
项次	受力情况	计算内容	公　式	说　明
1		拉应力或压应力	$\sigma = \frac{N}{tl_w} \leqslant f_t^w$ 或 $\leqslant f_c^w$　(4-1)	M、N、V—弯矩，轴心力和剪力； t—连接件的较小厚度，在T形连接中为腹板厚度； l_w—焊缝计算长度，为设计长度减$2t$（有引弧板时可不减）； A_w、W_w—焊缝截面面积和截面模量； S_w—所求剪应力处以上的焊缝截面对中和轴的面积矩； I_w—焊缝截面对其中和轴的惯性矩； W_{w1}、S_{w1}—1点处正应力和剪应力所用的焊缝截面截面模量和面积矩； f_t^w、f_c^w、f_v^w—对接焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值，按表2-5采用
2		拉应力或压应力	$\sigma = \frac{N\sin\theta}{tl_w} \leqslant f_t^w$ 或 f_c^w　(4-2)	
		剪应力	$\tau = \frac{N\cos\theta}{tl_w} \leqslant f_v^w$　(4-3)	
3		正应力	$\sigma = \frac{6M}{tl_w^2} \leqslant f_t^w$ 或 f_c^w　(4-4)	
		剪应力	$\tau = \frac{1.5V}{tl_w} \leqslant f_v^w$　(4-5)	
4		正应力	$\sigma = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_w} \leqslant f_t^w$ 或 f_c^w　(4-6)	
		剪应力	$\tau = \frac{VS_w}{I_w t} \leqslant f_v^w$　(4-7)	
		折算应力	$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\times\tau_1^2} = \sqrt{\left(\frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_{w1}}\right)^2 + 3\left(\frac{VS_{w1}}{I_w t}\right)^2} \leqslant 1.1 f_t^w$　(4-8)	

注：1. 序号2中当$\mathrm{tg}\theta \leqslant 1.5$时可不计算；

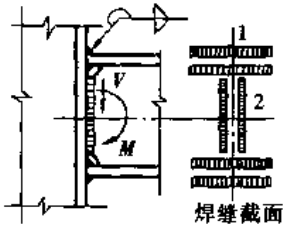
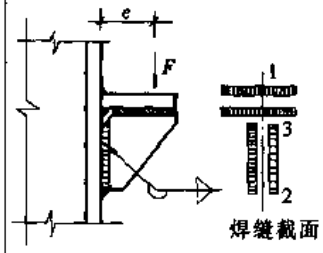
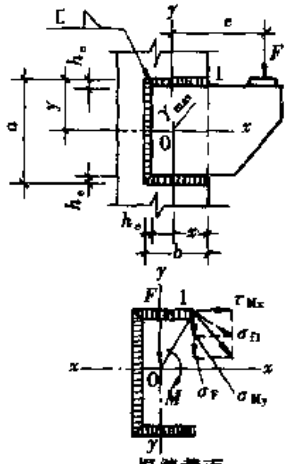
2. 在对接接头和T形接头中，在同时受有较大的正应力和剪应力处（梁腹板横向对接焊缝的端部）才需用公式（4-8）计算。

角焊缝连接的强度计算公式

表 4-3

项次	受力情况	公　式	说　明
1		$\sigma_f=\dfrac{N}{(h_{e1}+h_{e2})l_w}\leqslant\beta_f f_f^w$ (4-9)	$h_e(h_{e1}、h_{e2})$—角焊缝的计算厚度； 对直角角焊缝，$h_e=0.7h_f$； 对斜角角焊缝，$h_e=h_f\cos(\alpha/2)$（图 4-4 中根部间隙 b，b_1 或 $b_2\leqslant1.5mm$）或 $h_e=\left(h_f-\dfrac{b(或\ b_1,b_2)}{\sin\alpha}\right)\cos(\alpha/2)$（$b$，$b_1$ 或 $b_2>1.5mm$，但$\leqslant5mm$），除钢管结构外，不宜用作受力焊缝； h_f—角焊缝的焊脚尺寸； α—两焊脚边的夹角； $\Sigma l_w(\Sigma l_{w1}、\Sigma l_{w2})$—拼接连接一侧或两焊件间的焊缝计算长度总和，焊缝计算长度为设计长度减 $2h_f$； $\sigma_M(\sigma_{M1}、\sigma_{M2}、\sigma_{M3})$—角焊缝在弯矩 M（或 $F\cdot e$）作用下所产生的垂直于焊缝长度方向的应力； σ_N、σ_F—角焊缝在轴心力 N 或外力 F 作用下所产生的垂直于焊缝长度方向的应力
2		$\tau_f=\dfrac{N}{h_e\Sigma l_w}\leqslant f_f^w$ (4-10)	
3		设 h_{e1}、Σl_{w1}为已知 $N_1=h_{e1}\Sigma l_{w1}\beta_f f_f^w$ (4-11) $N_2=N-N_1$ (4-12a) $\tau_f=\dfrac{N_2}{h_{e2}\Sigma l_{w2}}$ (4-12b)	
4		$\sigma_f=\sqrt{\left(\dfrac{\sigma_M}{\beta_f}+\dfrac{\sigma_N}{\beta_f}\right)^2+(\tau_V)^2}$ $=\sqrt{\left(\dfrac{6M}{\beta_f\cdot2h_e l_w}+\dfrac{N}{\beta_f\cdot2h_e l_w}\right)^2+\left(\dfrac{V}{2h_e l_w}\right)^2}$ $\leqslant f_f^w$ (4-13)	

续表

项次	受力情况	公　式	说　明
5	 焊缝截面	$\sigma_{M1}=\dfrac{M}{W_{w1}}\leqslant\beta_f f_f^w$ (4-14) $\sigma_{f2}=\sqrt{\left(\dfrac{\sigma_{M2}}{\beta_f}\right)^2+(\tau_V)^2}$ (4-15) $=\sqrt{\left(\dfrac{M}{\beta_f W_{w2}}\right)^2+\left(\dfrac{V}{A_{ww}}\right)^2}\leqslant f_f^w$	τ_V、τ_F、τ_{Fe} —角焊缝在剪力 V、外力 F 和弯矩或 Fe 作用下所产生的沿焊缝长度方向的剪应力； I_{wp}—角焊缝有效截面对其形心 0 的极惯性矩，按下式计算： $I_{wp}=I_{wpx}+I_{wpy}$ I_{wpx}、I_{wpy}—角焊缝有效截面对其 x、y 轴的惯性矩； A_{ww}—腹板连接焊缝的截面面积； W_w—焊缝的截面抵抗矩； f_f^w—角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值，按表 2-5 采用； β_f—正面角焊缝的强度设计值增大系数，对承受静力荷载和间接承受动力荷载的直角角焊缝，取 $\beta_f=1.22$，对斜角角焊缝，不论承受静力荷载还是动力荷载，均取 $\beta_f=1.0$
6	 焊缝截面	$\sigma_{M1}=\dfrac{Fe}{W_{w1}}\leqslant\beta_f f_f^w$ (4-16) $\sigma_{f2}=\sqrt{\left(\dfrac{\sigma_{M2}}{\beta_f}\right)^2+(\tau_f)^2}$ (4-17) $=\sqrt{\left(\dfrac{Fe}{\beta_f W_{w2}}\right)^2+\left(\dfrac{F}{A_{ww}}\right)^2}\leqslant f_f^w$ $\sigma_{f3}=\sqrt{\left(\dfrac{\sigma_{M3}}{\beta_f}\right)^2+(\tau_f)^2}$ (4-18) $=\sqrt{\left(\dfrac{Fe}{\beta_f W_{w3}}\right)^2+\left(\dfrac{F}{A_{ww}}\right)^2}\leqslant f_f^w$	
7	 焊缝截面	焊缝“1”点处受力最大，其最大综合应力为： $\sigma_{f1}=\sqrt{\left(\dfrac{\sigma_M}{\beta_f}+\dfrac{\sigma_F}{\beta_f}\right)^2+(\tau_{Fe})^2}$ (4-19) $=\sqrt{\left(\dfrac{Fex}{\beta_f I_{wp}}+\dfrac{F}{\beta_f h_e\Sigma l_w}\right)^2+\left(\dfrac{Fey}{I_{wp}}\right)^2}$ $\leqslant f_f^w$ 此处为单面焊缝，图中 0 点为焊缝截面形心	

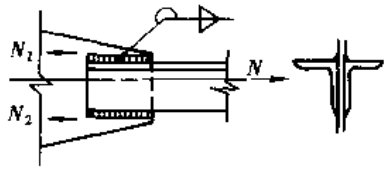
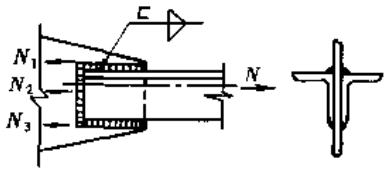
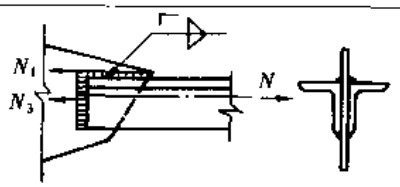
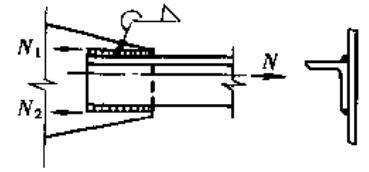
部分焊透的对接焊缝形式 表 4-4

项次	坡口形式	图号	两焊脚边夹角 α	焊缝计算厚度 h_e	说明
1	V形	图 4-5（a）（f）	$\alpha \geqslant 60°$ $\alpha < 60°$	$h_e = s$ $h_e = 0.75s$	当熔合线处焊缝截面边长等于或接近最短距离 s 时（图 4-5b、c、e、f）时，抗剪强度设计值应按角焊缝强度设计值乘以 0.9
2	单边V形和K形	图 4-5（b）（c）	$\alpha = 45° \pm 5°$	$h_e = s - 3$	
3	U形、J形	图 4-5（d）（e）		$h_e = s$	

4.1.7 角钢与钢板、圆钢与钢板、圆钢与圆钢之间的角焊缝连接计算

1. 角钢与钢板连接的角焊缝，应按表 4-5 所列公式计算

角钢与钢板连接的角焊缝计算公式 表 4-5

项次	连接形式	公式	说明
1	 （a）两面侧焊	$l_{w1} = \dfrac{k_1 N}{2 \times 0.7 h_f f_f^w}$ (4-20) $l_{w2} = \dfrac{k_2 N}{2 \times 0.7 h_f f_f^w}$ (4-21)	假定侧面角焊缝的焊脚尺寸 h_f 为已知，求焊缝计算长度 l_w，焊缝计算长度为设计长度减 $2h_f$
2	 （b）L型围焊	$N_3 = 2 \times 0.7 h_{f3} l_{w3} \beta_f f_f^w$ (4-22a) 但须 $N_3 < 2k_2 N$ $N_1 = k_1 N - N_3/2$ (4-22b) $N_2 = k_2 N - N_3/2$ (4-22c) $l_{w1} = \dfrac{N_1}{2 \times 0.7 h_{f1} f_f^w}$ (4-22d) $l_{w2} = \dfrac{N_2}{2 \times 0.7 h_{f2} f_f^w}$ (4-22e)	假定正面角焊缝的焊脚尺寸 h_{f3} 和长度 l_{w3} 为已知，侧面角焊缝的焊脚尺寸 h_{f1}、h_{f2} 为已知，求焊缝计算长度 l_{w1}、l_{w2}
3	 （c）三面围焊	$N_3 = 2k_2 N$ (4-23a) $l_{w1} = \dfrac{N - N_3}{2 \times 0.7 h_{f1} f_f^w}$ (4-23b) $l_{w3} = \dfrac{N_3}{2 \times 0.7 h_{f2} f_f^w}$ (4-23c)	L型围焊一般只宜用于内力较小的杆件连接，且使 $l_{w1} \geqslant l_{w3}$
4	 （d）单角钢的单面连接	$l_{w1} = \dfrac{k_1 N}{0.7 h_{f1}(0.85 f_f^w)}$ (4-24) $l_{w2} = \dfrac{k_2 N}{0.7 h_{f2}(0.85 f_f^w)}$ (4-25)	单角钢杆件的单面连接，只宜用于内力较小的情况，式中的 0.85 为焊缝强度折减系数见表 2-9

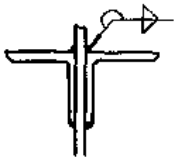
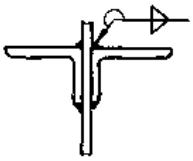
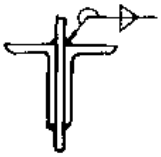
注：表中 h_{f1}、l_{w1} ——一个角钢肢背侧面角焊缝的焊脚尺寸和计算长度；

h_{f2}、l_{w2} ——一个角钢肢尖侧面角焊缝的焊脚尺寸和计算长度；

h_{f3}、l_{w3} ——一个角钢端部正面角焊缝的焊脚尺寸和计算长度；

k_1、k_2 ——角钢肢背和肢尖的角焊缝内力分配系数，可按表 4-6 确定。

角钢肢背和肢尖的角焊缝内力分配系数 k_1 和 k_2 值　　表 4-6

项次	角钢类别与连接形式	分配系数	
		k_1	k_2
1	 等边角钢一肢相连	0.70	0.30
2	 不等边角钢短肢相连	0.75	0.25
3	 不等边角钢长肢相连	0.65	0.35

2. 圆钢与钢板（或型钢的平板部分）、圆钢与圆钢之间的连接焊缝主要用于圆钢、小角钢的轻型钢结构中。应按公式（4-10）计算抗剪强度：即

$$\tau_f = \frac{N}{h_e \Sigma l_w} \leqslant f_f^w \tag{4-10}$$

式中　h_e——焊缝的计算厚度；

对圆钢与钢板（或型钢的平板部分）的连接（图 4-6），$h_e \approx 0.7 h_f$；

对圆钢与圆钢的连接（图 4-7），h_e 应按下式计算：

$$h_e = 0.1(d_1 + 2d_2) - a \tag{4-26}$$

d_1——大圆钢直径；

d_2——小圆钢直径；

a——焊缝表面至两个圆钢公切线的距离；

f_f^w——角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值用于图 4-6 图 4-7 中，其强度设计值应按表 2-4 中值乘以 0.95。

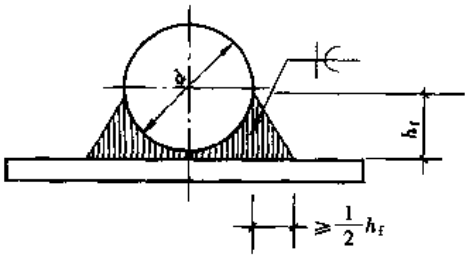


图 4-6　圆钢与钢板间的连接焊缝

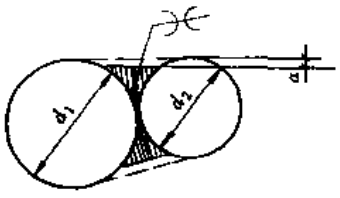


图 4-7　圆钢与圆钢间的连接焊缝

4.1.8 对接焊缝及角焊缝的构造

1. 对接焊缝的构造

(1) 钢板的拼接采用对接焊缝时，纵横两方向的焊缝可成十字形交叉或 T 字形交叉，T 字形交叉点间的距离不得小于 200mm（图 4-8）。

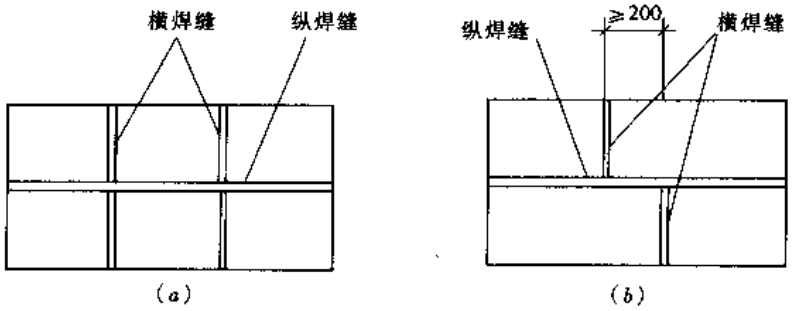


图 4-8 钢板的拼接

(a) 十字形交叉；(b) T 形交叉

(2) 对接焊缝的坡口形式，应根据板厚和施工条件按现行《手工电弧焊接接头的基本形式与尺寸》和《焊剂层下自动焊与半自动焊接接头的基本形式与尺寸》的规定选用。为方便选用，在表 4-1 中列出了常用的对接焊缝的截面形式和构造。

(3) 在对接焊缝的拼接处，当钢板的厚度或宽度相差 4mm 以上时，均应从板的一侧或两侧做成坡度不大于 1:2.5（1:4）的斜度（图 4-9）。当改变厚度时，焊缝坡口形式应根据较薄板的厚度现行国家标准的要求选用。

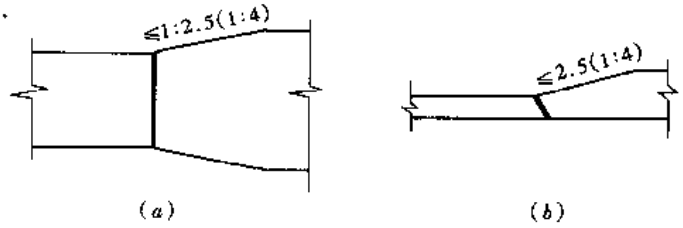


图 4-9 变截面钢板的拼接

注：图中括号内数值适用于直接承受动力荷载且需验算疲劳的结构

2. 角焊缝的构造要求见表 4-7。

角焊缝的构造要求 表 4-7

项次	构造要求	普通钢结构（有圆钢者除外）	有圆钢的钢结构	薄壁型钢结构
1	角焊缝的最小焊脚尺寸 h_f 或最小有效厚度	角焊缝的焊脚尺寸 h_f（mm）不得小于 $1.5\sqrt{t}$，t 为较厚焊件的厚度（mm）。但对 T 形连接的单面角焊缝应增加 1mm，当焊件厚度等于或小于 4mm 时，则最小焊脚尺寸应与焊件厚度相同	圆钢与圆钢，圆钢与钢板（或型钢）之间角焊缝的最小有效厚度 h_e，不应小于 0.2 倍圆钢直径（当焊接的两圆钢直径不同时，取平均直径）或 3mm	—

续表

项次	构造要求	普通钢结构（有圆钢者除外）	有圆钢的钢结构	薄壁型钢结构
2	角焊缝的最大焊脚尺寸 h_f 或最大有效厚度	焊缝的最大焊脚尺寸 h_f 不得大于较薄焊件厚度的1.2倍，但焊件边缘的焊缝最大焊脚尺寸尚应符合下列要求： （1）当 $t \leqslant 6$mm 时，$h_f \leqslant 6$mm； （2）当 $t > 6$mm 时， $h_f \leqslant t - (1 \sim 2)$mm t——焊件边缘厚度	圆钢与钢板之间角焊缝的最大有效厚度 h_e，不应大于钢板直径的1.2倍	角焊缝的最大焊脚尺寸 h_f 不得大于较薄焊件厚度 t 的1.5倍，直接相贯的钢管节点的角焊缝焊脚尺寸可放大到 $2.0t_c$
3	侧焊缝或端焊缝的最小计算长度 l_w	不得小于 $8h_f$ 和40mm	不得小于20mm	不得小于30mm
4	侧焊缝的最大计算长度 l_w	（1）在静力荷载作用下，不宜大于 $60h_f$；当大于上述数值时，其超出部分在计算中不予考虑； （2）当内力沿侧面焊缝全长分布，其计算长度全部有效	—	—
5	间断焊缝的最大间距	在次要构件或次要焊缝连接中，当连续角焊缝的计算厚度小于上述几项规定的最小厚度时，可采用间断焊缝，间断焊缝长度不得小于 $10h_f$ 或50mm，间断焊缝之间的净距离要求如下： （1）在受压构件中不大于 $15t$； （2）在受拉构件中不大于 $30t$； t 为较薄焊件的厚度	—	电阻点焊的焊点中距不宜小于 $15\sqrt{t}$，焊点边距不宜小于 $10\sqrt{t}$（mm），t 为相连板件中外层较薄板件的厚度
6	搭接连接中的最小搭接长度	不得小于焊件较小厚度的5倍，并不得小于25mm	—	—
7	板端仅有侧面角焊缝，角焊缝间距为 b	每条 $l_w \geqslant b$ $b \leqslant 16t$　$t > 12$mm $b \leqslant 190$mm　$t \leqslant 12$mm	—	—
8	杆件与节点板的连接焊缝方式	一般为两面侧焊缝，也可用三面围焊；角钢杆件可采用L形围焊，围焊转角处必须连续施焊	—	—
9	角焊缝端部在构件转角处	当作长度为 $2h_f$ 的绕角焊时，转角处必须连续施焊	—	—

4.2 普通螺栓和高强度螺栓连接

4.2.1 螺栓的排列

普通螺栓和高强度螺栓在构件上的排列分并列布置和错列布置，其排列要求和容许距离应符合表 4-15 的要求。

4.2.2 螺栓的分类

普通螺栓分 C 级、B 级和 A 级三种。A 级和 B 级属精制螺栓，其抗剪、抗拉性能良好，但制造和安装复杂，故很少采用。C 级属粗制螺栓，其抗剪性能较差，主要用于沿其杆轴方向受拉的连接；在下列情况时可用于受剪连接：

1. 承受静力荷载和间接承受动力荷载结构中的次要连接，如受力较小的屋盖支撑；
2. 不承受动力荷载的可拆卸结构的连接；
3. 临时固定构件用的安装连接。

4.2.3 螺栓防止松动的措施

对直接承受动力荷载的普通螺栓受拉连接应采用双螺帽或其他能防止螺帽松动的有效措施。

4.2.4 高强度螺栓的分类

高强度螺栓连接，从受力特征分为高强度螺栓摩擦型连接、高强度螺栓承压型连接和承受拉力的受拉型高强度螺栓连接。

4.2.5 普通螺栓、锚栓、高强度螺栓的连接计算

1. 在普通螺栓和锚栓的连接中，一个普通螺栓和锚栓的承载力设计值，应按表 4-8 所列公式计算。

一个普通螺栓和锚栓的承载力设计值计算公式 表 4-8

项次	受力情况		普通螺栓（锚栓）承载力设计值	说明
1	受剪连接	抗剪	$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b$ (4-27) $N_c^b = d \cdot \Sigma t \cdot f_c^b$ (4-28) 取两者中的较小者	n_v—受剪面数，单剪 $n_v=1$，双剪 $n_v=2$，四剪 $n_v=4$； d、d_e—普通螺栓或锚栓的栓杆直径和在螺纹处的有效直径，见表 4-9； Σt—在同一受力方向的承压构件的较小总厚度； f_v^b、f_c^b、f_t^b—普通螺栓的抗剪、承压和抗拉强度设计值见表 2-6； N_v、N_t—一个普通螺栓所承受的剪力和拉力； N_v^b、N_c^b、N_t^b—一个普通螺栓的抗剪、承压和抗拉承载力设计值； f_t^a—锚栓的抗拉强度设计值，见表 2-6； N_t^a—一个锚栓的抗拉承载力设计值
2		承压		
3	杆轴方向受拉连接	抗拉	$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b$ (4-29a) $N_t^a = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^a$ (4-29b)	
4	同时承受剪力和杆轴方向拉力的连接		$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leqslant 1$ (4-30) $N_v \leqslant N_c^b$ (4-31)	

螺栓的有效直径和在螺纹处的有效面积　　表 4-9

螺栓直径 d (mm)	螺纹间距 p(mm)	螺栓有效直径 d_e(mm)	螺栓有效面积 A_e(mm²)	螺栓直径 d (mm)	螺纹间距 p(mm)	螺栓有效直径 d_e(mm)	螺栓有效面积 A_e(mm²)
10	1.5	8.59	58	45	4.5	40.78	1306
12	1.75	10.36	84	48	5.0	43.31	1473
14	2.0	12.12	115	52	5.0	47.31	1758
16	2.0	14.12	157	56	5.5	50.84	2030
18	2.5	15.65	193	60	5.5	54.84	2362
20	2.5	17.65	245	64	6.0	58.37	2676
22	2.5	17.65	303	68	6.0	62.37	3055
24	3.0	21.19	353	72	6.0	66.37	3460
27	3.0	24.19	459	76	6.0	70.37	3889
30	3.5	26.72	561	80	6.0	74.37	4344
33	3.5	29.72	694	85	6.0	79.37	4948
36	4.0	32.25	817	90	6.0	84.37	5591
39	4.0	35.25	976	95	6.0	89.37	6273
42	4.5	37.78	1121	100	6.0	94.37	6995

注：表中 d_e——普通螺栓或锚栓在螺纹处的有效直径，按下式计算得：

$$d_e = \left(d - \frac{13}{24}\sqrt{3}p\right)$$

A_e——螺纹处的有效面积 $A_e = \frac{\pi}{4}d_e^2$。

2. 摩擦型高强度螺栓应按表 4-10 的公式进行计算

一个高强度螺栓摩擦型连接的承载力设计值计算公式　　表 4-10

项次	受力情况	公式	说明
1	抗剪连接（承受摩擦面间的剪力）	$N_v^b = 0.9n_f\mu P$　(4-32)	n_f—传力摩擦面数目； μ—摩擦面的抗滑移系数，见表 4-11； P——个高强度螺栓的设计预拉力，见表 4-12； N_v、N_t——个高强度螺栓所承受的剪力和拉力； N_v^b、N_t^b——一个高强度螺栓的抗剪和抗拉承载力设计值
2	螺栓杆轴方向受拉的连接	$N_t^b = 0.8P$　(4-33)	
3	同时承受摩擦面间的剪力和螺栓杆轴方向的外拉力	$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leqslant 1$　(4-34)	

（1）高强度螺栓的摩擦面处理

见表 4-11。

摩擦面的抗滑移系数 μ　　表 4-11

在连接处构件接触面的处理方法	构件的钢号		
	Q235 钢	Q345 钢、Q390 钢	Q420 钢
喷砂（丸）	0.45	0.50	0.50
喷砂（丸）后涂无机富锌漆	0 35	0.40	0.40
喷砂（丸）后生赤锈	0.45	0.50	0.50
钢丝刷消除浮锈或未经处理干净轧制表面	0.30	0.35	0.40

注：摩擦面处理方式必须在设计文件中注明。

（2）高强度螺栓的预拉力见表 4-12。

高强度螺栓预拉力值　　表 4-12

螺栓的性能等级	螺栓的公称直径（mm）					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355

注：$P=\frac{0.9\times0.9\times0.9}{1.2}f_uA_e\approx0.6f_uA_e$，$f_u\approx830\text{MPa}$（8.8 级），$f_u\approx1040\text{MPa}$（10.9 级），$A_e$ 见表 4-9。

3. 承压型高强度螺栓应按以下要求进行设置和计算：

（1）承压型高强度螺栓的设计预拉力 P 应与摩擦型高强度螺栓相同，连接处构件接触面应清除油污及浮锈。

高强度螺栓承压型连接仅适用于承受静力荷载或间接承受动力荷载结构中的连接。

（2）一个高强度螺栓承压型连接的承载力设计值，应按表 4-13 所列公式计算。

一个高强度螺栓承压型连接的承载力设计值计算公式　　表 4-13

项次	受力情况		公式	说明
1	受剪连接	抗剪	$N_v^b=n_v\frac{\pi d_e^2}{4}f_v^b$　(4-35) $N_c^b=d\cdot\Sigma t\cdot f_c^b$　(4-36) 取两者中的较小者	N_v^b、N_c^b、N_t^b——一个高强度螺栓的抗剪、承压和抗拉承载力设计值； N_v、N_t——一个高强度螺栓所承受的剪力和拉力； n_v—受剪面数目
		抗压		
2	螺栓杆轴方向受拉的连接		$N_t^b=0.8P$　(4-33)*	
3	同时承受剪力和杆轴方向拉力的连接		$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2+\left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2}\leqslant1$　(4-37) $N_v\leqslant N_c^b/1.2$　(4-38)	

4.3 普通螺栓和高强度螺栓群的连接计算和构造要求

4.3.1 普通螺栓或高强度螺栓群的连接，可按表 4-14 所列公式计算。

4.3.2 在构件的节点处或拼接连接的一侧，当普通螺栓或高强度螺栓沿受力方向的连接长度 l_1 大于 $15d_0$（d_0 为孔径）时，应将普通螺栓或高强度螺栓的承载力设计值乘以折减系数 α_s，$\alpha_s=[1.1-l_1/(150d_0)]$；当 l_1 大于 $60d_0$ 时，折减系数为 0.7。

4.3.3 在下列情况的连接中，普通螺栓或高强度螺栓的数目应予增加：

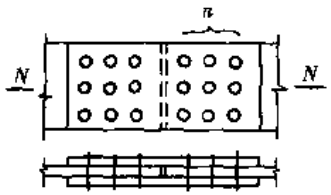
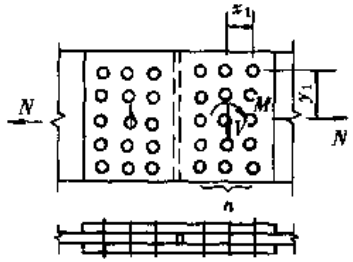
1. 一个构件借助填板或其他中间板件与另一构件连接的普通螺栓或高强度螺栓（摩擦型高强度螺栓除外）的数目，应按计算增加 10%（不与表 2-9 同时考虑）。

2. 搭接或用拼接板的单面连接，普通螺栓或高强度螺栓（摩擦型高强度螺栓除外）的数目，应按计算增加 10%（不与表 2-9 同时考虑）。

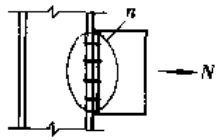
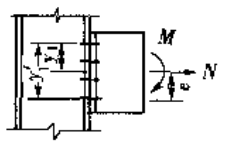
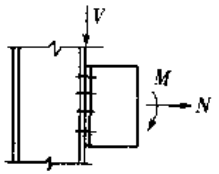
3. 在构件的端部连接中，当利用短角钢连接型钢（角钢或槽钢）的外伸肢以缩短连接长度时，在短角钢两肢中的一肢上，所用普通螺栓或高强度螺栓的数目，应按计算增加 50%。

4.3.4 直接承受动力荷载的结构或构件的摩擦型高强度螺栓连接，对可能发生疲劳破坏的连接部位，应按 3.3 节进行常幅疲劳计算。

普通螺栓和高强度螺栓连接的计算公式　　表 4-14

项次	受力情况		简图	计算公式	说明
1	受剪的连接	受轴心力作用		$n \geqslant \dfrac{N}{N_v^b}$ (4-39)	n—传递所受作用力的螺栓数； x_1、y_1—所验算螺栓或铆钉到螺栓或铆钉群形心的水平和竖向距离； y_1'—所验算螺栓或铆钉到最外排受压螺栓或铆钉的竖向距离； x_i、y_i—任一个螺栓或铆钉到螺栓或铆钉群形心的水平和竖向距离； y_i'—任一个螺栓或铆钉到最外排受压螺栓或铆钉的竖向距离； e—轴心力到最外排受压螺栓或铆钉的竖向距离；
2		受轴心力、剪力和扭矩共同作用		$N_{iy}^V = \dfrac{V}{n}$ (4-40) $N_{ix}^N = \dfrac{N}{n}$ (4-41) $N_{ix}^M = \dfrac{My_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n} y_i^2}$ (4-42) $N_{iy}^M = \dfrac{Mx_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n} y_i^2}$ (4-43) $N_i = \sqrt{(N_{ix}^M + N_{ix}^N)^2 + (N_{iy}^M + N_{iy}^V)^2} \leqslant N_v^b$ 或 N_c^b 中的较小值 (4-44)	

续表

项次	受力情况	简　图	计 算 公 式	说　明
3	受拉的连接 受轴心力作用		$n \geqslant \frac{N}{N_t^b}$ (4-45)	N_v^b、N_c^b、N_t^b——一个普通螺栓或高强度螺栓的抗剪、承压和抗拉承载力设计值； 公式（4-46）旋转点位于螺栓群中心，用于计算高强度螺栓连接和普通螺栓连接小偏心受拉情况； 公式（4-47）旋转点位于外排受压螺栓中心，用于计算普通螺栓连接
4	受拉的连接 受轴心力和弯矩共同作用		(1) $\frac{N}{n} - \frac{My_1}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2} \geqslant 0$ 时， $N_{max} = N_1 = \frac{N}{n} + \frac{My_1}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2} \leqslant N_t^b$ (4-46) (2) $\frac{N}{n} - \frac{My_1}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2} < 0$ 时， $N_{max} = N_1 = \frac{(M + Ne)y'_1}{\sum_{i=1}^{n} y'^2_i} \leqslant N_t^b$ (4-47)	
5	受拉的连接 受轴心力、剪力和弯矩共同作用		普通螺栓应按公式（4-30）、（4-31）计算，高强度螺栓； 摩擦型应用公式（4-34）计算， 承压型应用公式（4-37）、（4-38）计算。	

4.3.5　螺栓的排列和构造要求

1. 螺栓的排列考虑受力、构造和施工要求，其最大和最小间距应满足表 4-15 的规定。

螺栓的容许距离　　表 4-15

项次	名　称	位置和方向			最大容许距离（取两者的较小值）	最小容许距离
1	中心间距	任意方向	外排		$8d_0$ 或 $12t$	$3d_0$
			中间排	构件受压时	$12d_0$ 或 $18t$	
				构件受拉时	$16d_0$ 或 $24t$	
2	中心至构件边缘距离	顺内力方向			$4d_0$ 或 $8t$	$2d_0$
		垂直内力方向	切割边，手工气割边，及高强度螺栓轧制边			$1.5d_0$
			轧制边			$1.2d_0$

注：1. d_0 为螺栓孔径，t 为外层较薄板件的厚度。

2. 钢板边缘与刚性构件（如角钢、槽钢等）相连的螺栓最大间距，可按中间排的采用。

2. 螺栓公称直径 d 与螺栓孔径的关系

当螺栓直径等于或小于 16mm 时，螺栓孔径大于螺栓直径 1mm。

当螺栓直径大于 16mm 时，螺栓孔径大于螺栓直径 1.5mm。

3. 高强度螺栓孔应采用钻成孔。摩擦型连接的高强度螺栓的孔径比螺栓公称直径 d 大 1.5～2.0mm。承压型连接的高强度螺栓的孔径比公称直径 d 大 1.0～1.5mm。

4. 角钢、工字钢、槽钢上的螺栓规距及相应的最大螺栓孔径。

在角钢、工字钢、槽钢上螺栓线的规距及相应的最大螺栓孔径可按表 25-1～25-3 采用。

4.4　拼　接　连　接

4.4.1　钢材的工厂焊接拼接

1. 在制造中，当材料的长度不能满足构件的长度要求时，必须进行接长拼接。材料的工厂拼接一般是采用焊接连接，通常，钢材的工厂拼接连接多按构件截面面积的等强度条件进行计算。

2. 钢板的拼接应满足下列要求：

（1）凡能保证连接焊缝强度与钢材强度相等时，可采用对接正焊缝（垂直于作用力方向的焊缝）进行拼接，如图 4-1（a）。此时可不必进行焊缝强度计算。

（2）凡连接焊缝的强度低于钢材强度时，则应采用对接斜焊缝（与作用力方向的夹角为 45°～55°的斜焊缝）进行拼接，此时可认为焊缝强度与钢材强度相等而不必进行焊缝强度计算。

（3）组合工字形或 H 形截面的翼缘板和腹板的拼接，一般宜采用完全焊透的坡口对接焊缝进行拼接。

（4）拼接连接焊缝的位置宜设在受力较小的部位，并应采用引弧板施焊，以消除弧坑

的影响。

采用双角钢组合的T形截面杆件，其角钢的接长拼接通常是采用拼接角钢，并应将拼接角钢的背棱切角，使其紧贴于被拼接角钢的内侧（图4-10）。

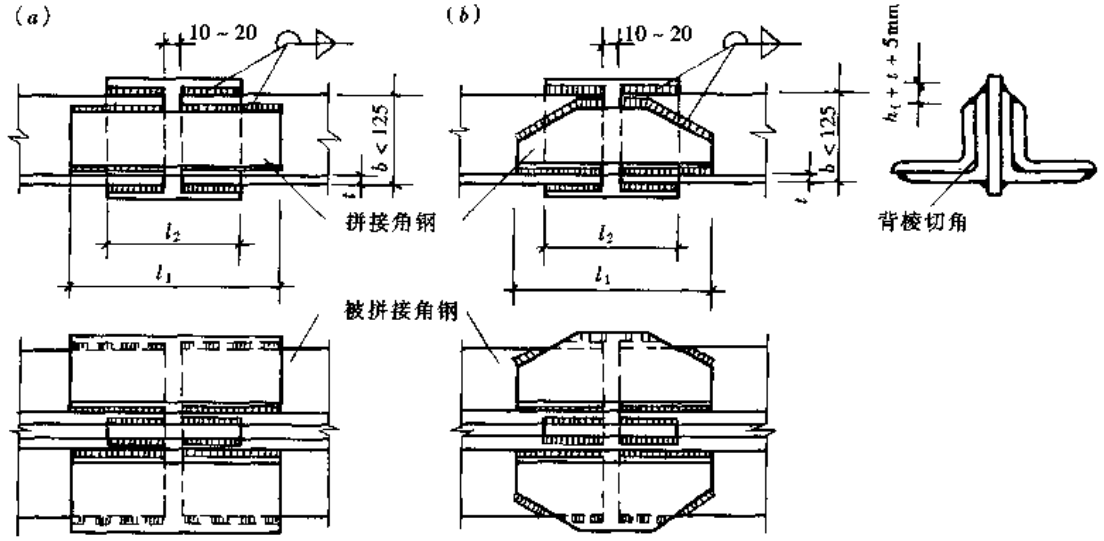


图4-10 双角钢杆件的拼接连接

（a）角钢边宽<125mm的拼接；（b）角钢边宽≥125mm的拼接

拼接角钢通常是采用同号角钢切割制成，竖肢切去的高度一般为 h_1+t+5mm，以便布置连接焊缝，切去后的截面削弱由垫板补强。拼接角钢的长度根据连接焊缝的计算长度确定。当拼接角钢边宽≥125mm时，宜将其水平肢和竖直肢的两端均切去一角，以布置斜焊缝，使其传力平顺（图4-10*b*）。

拼接用的垫板长度根据发挥该垫板强度所需的焊缝强度来确定，此时垫板的宽度 b_2 取等于被拼接角钢的边宽加20～30mm，垫板厚度一般取与构件连接所用的节点板厚度相同。

单角钢杆件的拼接除可采用角钢拼接外，也可采用钢板拼接（图4-11）。此时拼接角钢或钢板应按被拼接角钢截面面积的等强度条件来确定。

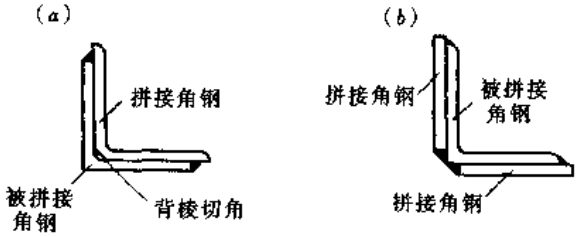


图4-11 单角钢杆件的拼接连接

（a）采用拼接角钢的拼接；（b）采用拼接钢板的拼接

3. 轧制工字钢、槽钢和H形钢的拼接连接，通常有：

（1）轧制工字钢、槽钢的焊接拼接，一般采用拼接连接板，并按被拼接的工字钢、槽钢截面面积的等强度条件来确定（图4-12）。

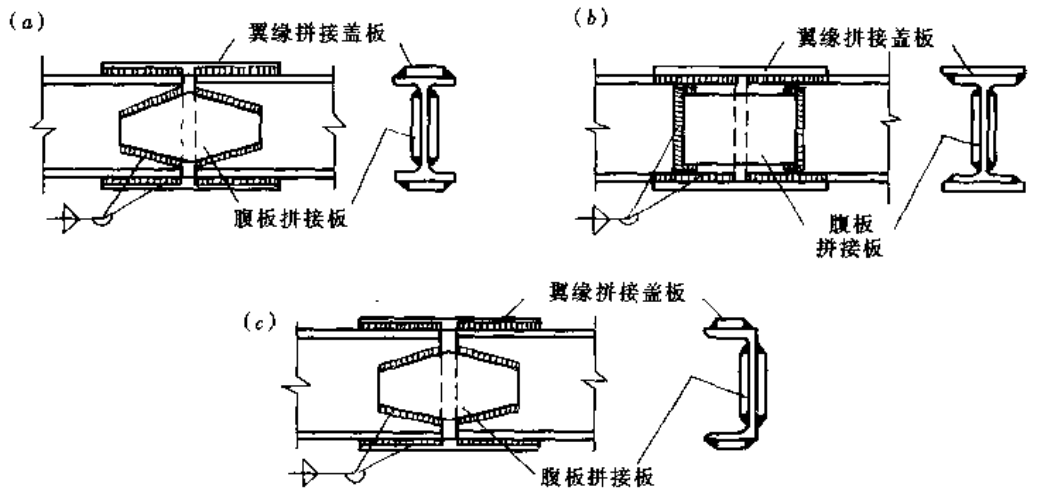


图 4-12　轧制工字钢和槽钢的拼接连接

(a) 工字钢拼接（一）；(b) 工字钢的拼接（二）；(c) 槽钢的拼接

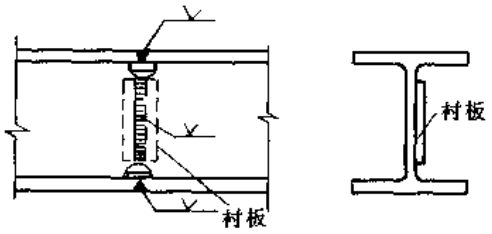


图 4-13　轧制 H 形钢的拼接连接

(2) 轧制 H 形钢的焊接拼接，通常采用完全焊透的坡口对接焊缝的等强度连接（图 4-13）。

4.4.2　梁和柱现场安装拼接

1. 轧制工字钢、H 形钢或组合工字形截面、箱形截面梁或柱的现场安装拼接，可根据具体情况采用焊接连接，或高强度螺栓连接，或高强度螺栓和焊接的混合连接。

2. 梁的拼接连接通常是设在距梁端 1.0m 左右位置处；柱的拼接连接通常是设在楼板面以上 1.1～1.3m 位置处。

4.5　连接设计实例

【例题 4-1】　板件的焊接拼接连接设计

1. 设计资料

被连接板件的截面尺寸为 200mm × 14mm，承受轴心力 $N = 550\text{kN}$（静力荷载），板件及其拼接连接板均为 Q235 钢，焊条为 E43 × × 型焊条，采用角焊缝手工焊接，板件尺寸及其连接形式如图 4-14 所示。

2. 拼接连接计算

(1) 拼接连接板的截面选择

根据拼接连接板与被连接板件的等强度条件和焊接构造要求，拼接连接板的宽度采用 170mm。由此得到拼接连接板的厚度为

$$t_1 = \frac{200 \times 14}{2 \times 170} = 8.2\text{mm} \longrightarrow \text{取 } t_1 = 10\text{mm}$$

每块拼接连接板的截面采用 170mm × 10mm。

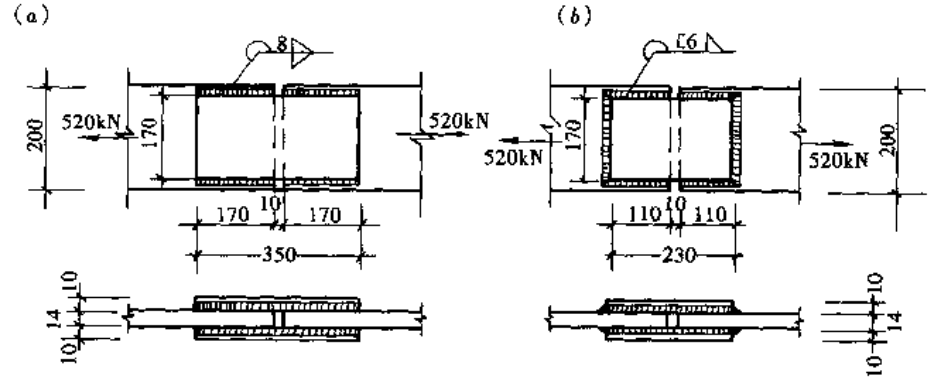


图 4-14 板件的焊接拼接连接图示

(a) 两面侧焊；(b) 三面围焊

(2) 连接焊缝计算和拼接连接板长度的确定

1) 当采用图 4-14 (a) 所示的两面侧焊连接时

设连接角焊缝的焊脚尺寸 $h_f = 8\text{mm}$，则拼接连接一侧的侧面角焊缝实际长度：

$$l'_w = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{550 \times 10^3}{4 \times 0.7 \times 8 \times 160} + 16 = 169\text{mm}, \text{取为 } 170\text{mm}$$

按被连接两板件间留出间隙 10mm，则拼接连接板长度为：

$$l = 2l'_w + 10 = 2 \times 170 + 10 = 350\text{mm}(\text{图 4-14}a)$$

2) 当采用图 4-14 (b) 所示的三面围焊连接时

设连接角焊缝的焊脚尺寸 $h_f = 6\text{mm}$，则正面角焊缝所承担的力：

$$N_2 = 0.7 h_f \Sigma l_{w1} \beta_f f_f^w = 0.7 \times 6 \times 2 \times 170 \times 1.22 \times 160 = 279\text{kN}$$

侧面角焊缝的长度，参照公式 (4-12)

$$l'_w = \frac{N_1 - N_2}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + h_f = \frac{(550 - 279) \times 10^3}{4 \times 0.7 \times 6 \times 160} + 6$$

$$= 106\text{mm} \text{ 取 } l_{w2} = 110\text{mm}$$

按被连接两板件留出间隙 10mm，则拼接连接板的长度：

$$l = 2l'_w + 10 = 2 \times 110 + 10 = 230\text{mm}(\text{图 4-14}b)$$

【例题 4-2】 轧制工字钢梁的焊接拼接连接设计

1. 设计资料

普通工字钢梁采用 I32a，作用在拼接连接处的弯矩 $M_x = 100\text{kN} \cdot m$，剪力 $V = 380\text{kN}$；梁和拼接连接板均采用 Q235 钢，焊条为 E43 × × 型焊条，采用角焊缝手工焊接，连接节点如图 4-15 所示。

2. 梁的截面特性

截面尺寸如图 4-15 所示。由表 16-3

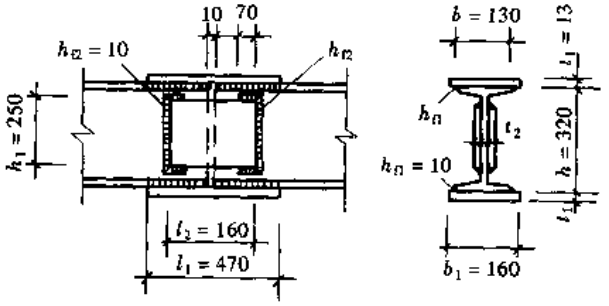


图 4-15 工字钢梁的焊接拼接连接图示

查得

$$A = 67.12\text{cm}^2, I_x = 11080\text{cm}^4$$

$$W_x = 692.5\text{cm}^3, t_w = 9.5\text{mm}$$

3. 拼接连接计算

(1) 工字钢翼缘拼接连接盖板及其连接

1) 翼缘拼接连接盖板所需的截面面积按与工字钢翼缘板的等强度条件得到：

工字钢全截面面积 $A = 67.12\text{cm}^2$

腹板截面面积

$$A_w = h_0 t_w = \left[h - \left(\frac{b - t_w}{24} + t\right) \times 2\right] t_w$$

$$= \left[32 - \left(\frac{13 - 0.95}{24} + 1.5\right) \times 2\right] \times 0.95$$

$$= 28 \times 0.95 = 26.6\text{cm}^2$$

单侧翼缘截面面积

$$A_f = \frac{1}{2}(6721 - 2660) = 2026\text{mm}^2$$

设翼缘拼接连接盖板的宽度 $b = 160\text{mm}$，则得到连接盖板的厚度 $t_1 = \frac{2026}{160} = 12.7\text{mm}$

翼缘拼接连接盖板的截面尺寸采用 160mm × 14mm

2) 翼缘拼接连接盖板与翼缘的连接焊缝，按与工字钢翼缘板等强度条件确定，设连接角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f1} = 10\text{mm}$，则拼接连接一侧的焊缝实际长度（参照公式 4-10）

$$l'_w = \left[\frac{Af}{2 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f\right] = \left[\frac{2026 \times 215}{2 \times 0.7 \times 10 \times 160} + 20\right]$$

$$= 214\text{mm}\ \text{采用}\ l'_w = 220\text{mm}$$

相应的拼接连接盖板长度

$$l_1 = 220 \times 2 + 10 = 450\text{mm}$$

I32a 的翼缘拼接连接盖板的截面尺寸为 160mm × 14mm，连接角焊缝的焊脚尺寸 h_f 为 10mm，拼接连接盖板的长度 $l_1 = 470\text{mm}$。板比上述计算结果稍大安全。

(2) 腹板拼接连接板的尺寸及其连接

1) 拼接连接板与腹板相连的焊缝计算长度和焊脚尺寸按承受由腹板刚度与全截面刚度之比所分担的弯矩和全部作用剪力来确定。

腹板的截面惯性矩为

$$I_{wx} = \frac{1}{12} t_w h_0^3 = \frac{1}{12} \times 9.5 \times 280^3 = 17.4 \times 10^6\text{mm}^4$$

$$M_{wx} = \frac{I_{wx}}{I_x} M_x = \frac{17.4 \times 10^6}{110.8 \times 10^6} \times 100 = 15.7\text{kN} \cdot \text{m}$$

腹板所承受的剪力为　　$V = 380\text{kN}$

设连接角焊缝的焊脚尺寸 $h_f = 10\text{mm}$，焊缝计算长度 $l_w = 250\text{mm}$，则一条焊缝的截面惯性矩及抵抗矩

$$I_{wx} = \frac{1}{12} \times 0.7 \times 2 \times 10 \times 250^3 = 18.2 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$W_{wx} = \frac{18.2 \times 10^6}{125} = 1.46 \times 10^5 \text{mm}^3$$

焊缝的强度校核，按公式（4-15）

$$\sigma_M = \frac{M_{wx}}{2W_{wx}} = \frac{15.7 \times 10^6}{2 \times 1.46 \times 10^5} = 53.7\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = \frac{V}{A_w} = \frac{380 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 10 \times 250} = 108.6\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\sigma_M}{\beta_f}\right)^2 + \tau_v^2} = \sqrt{\left(\frac{53.7}{1.22}\right)^2 + 108.6^2} = 117\text{N/mm}^2 < 160\text{N/mm}^2$$

2）腹板的拼接连接板尺寸及厚度，以满足连接角焊缝的长度和焊脚尺寸及焊接构造要求来确定，采用两块 160mm × 250mm × 12mm 的连接板，由于其厚度为 12 × 2 = 24mm > 9.5mm，连接板的强度不必计算。

I32a 腹板拼接连接板的尺寸为 160mm × 250mm × 14mm，焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2} = 12\text{mm}$，其结果比上述计算值稍大，原因是腹板的拼接连接板的焊缝是按腹板截面所能承受的最大剪力来计算的，因此利用简化设计计算是足够安全的。

3）若将腹板的拼接改成三面围焊

A. 焊缝截面的几何特性

焊缝的焊脚尺寸 $h_f = 8\text{mm}$，槽形截面位置，（距槽背长边）为

$$x_0 = \frac{2 \times 70 \times \frac{70}{2}}{2 \times 70 + 250} = 12.6\text{mm}$$

焊缝的极惯性矩：

$$I_{Wx} = 0.7 \times 8\left(\frac{1}{12} \times 250^3 + 2 \times 70 \times 125^2\right) = 19.54 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{Wy} = 0.7 \times 8\left\{2\left[\frac{1}{12} \times 70^3 + 70\left(\frac{70}{2} - 12.6\right)^2\right] + 250 \times 12.6^2\right\} = 0.93 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{W\rho} = I_{Wx} + I_{Wy} = 19.54 \times 10^6 + 0.93 \times 10^6 = 20.47 \times 10^6 \text{mm}^4$$

焊缝重心至最大应力点的距离为：

$$x_1 = 70 - 12.6 = 57.4\text{mm}$$

$$y_1 = 125\text{mm}$$

焊缝有效面积为

$$A_w = \Sigma hel_w = 0.7 \times 8(2 \times 70 + 250) = 2184\text{mm}^2$$

B. 焊缝重心处内力

腹板承受的内力值为：

设全部剪力由腹板承受 $V = 380\text{kN}$

腹板承受的弯矩由前为 15.7kN·m

C. 焊缝最大应力，参照公式（4-19）

$$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{\beta_f^2}\left(\frac{V}{A_w}+\frac{Mx_1}{I_{wp}}\right)^2+\left(\frac{My_1}{I_{wp}}\right)^2}$$

$$=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{1.22^2}\left(\frac{380\times10^3}{2184}+\frac{15.7\times10^6\times57.4}{20.47\times10^6}\right)^2+\left(\frac{15.7\times10^6\times125}{20.47\times10^6}\right)^2}$$

$$=101<160\text{N/mm}^2$$

【例题 4-3】　悬伸支承托板与柱的焊接连接设计

1. 设计资料

悬伸支托与柱的连接及荷载的作用情况，如图 4-16 所示。构件所用钢材为 Q345 钢，焊条为 E50××型焊条，采用角焊缝手工焊接（三面围焊）。

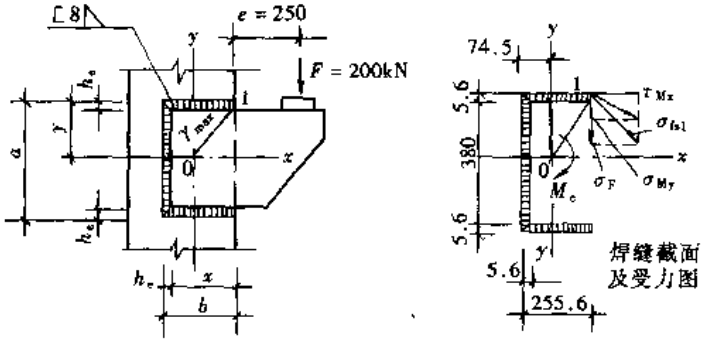


图 4-16　悬伸支托与柱的焊接连接图示

2. 连接计算

设三面围焊角焊缝焊脚尺寸 $h_f=8\text{mm}$，$h_e=0.7h_f=5.6\text{mm}$，则角焊缝有效截面的形心位置：

$$\bar{x}=\frac{2\times5.6\times255.6^2/2+380\times5.6^2/2}{5.6(255.6\times2+380)}=74.5mm$$

角焊缝有效截面的惯性矩：

$$I_{wx}=5.6\times380^3/12+2\times255.6\times5.6^3/12+2\times255.6\times5.6\times192.8^2$$

$$=1.32\times10^6\text{mm}^4$$

$$I_{wy}=380\times5.6^3/12+380\times5.6(74.5-2.8)^2$$

$$+2\times5.6\times255.6^3/12+2\times5.6\times255.6(127.8-74.5)^2$$

$$=3.5\times10^7\text{mm}^4$$

角焊缝有效截面的极惯性矩：

$$I_{wp}=I_{wx}+I_{wy}=1.32\times10^8+0.35\times10^8=1.67\times10^8\text{mm}^4$$

角焊缝有效截面形心处的弯矩

$$M_e=F(e+b-\bar{x})$$

$$=250(250+255.6-74.5)=107.8\text{kN}\cdot\text{m}$$

在弯矩 M_e 和剪力 $V(V=F)$ 共同作用下，角焊缝有效截面上“1”点的应力为：

应用公式（4-19）

$$\tau_{Mx} = \frac{M_e r_y}{I_{w\rho}} = \frac{107.8 \times 10^6 \times 195.6}{1.67 \times 10^8} = 126\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_e r_x}{I_{w\rho}} = \frac{107.8 \times 10^6 (255.6 - 74.5)}{1.67 \times 10^8} = 116.9\mathrm{N/mm^2}$$

$$\sigma_F = \frac{F}{A_w} = \frac{250 \times 10^3}{5.6(255.6 \times 2 + 380)} = 50\mathrm{N/mm^2}$$

$$\sigma_{fl} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{My} + \sigma_F}{\beta_f}\right)^2 + \tau_{Mx}^2} = \sqrt{\left(\frac{116.9 + 50}{1.22}\right)^2 + 126^2} = 186 < f_f^w = 200\mathrm{N/mm^2}$$

【例题 4-4】 悬伸支承托座（牛腿）与柱的焊接连接设计

1. 设计资料

悬伸支承托座采用组合工字形截面（I350 × 200 × 10 × 20），材料为 Q345 钢，焊条为 E50 × × 型焊条，采用角焊缝手工焊接。悬伸支承托座的尺寸和作用的集中力 F 如图 3-17 所示。

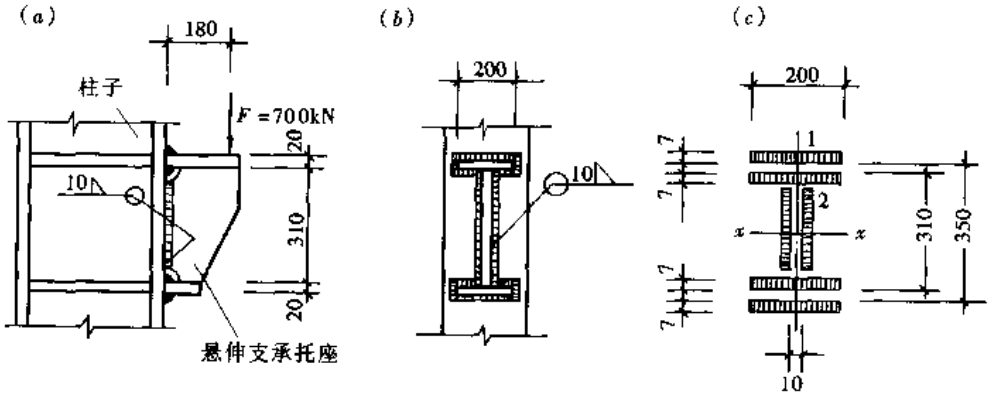


图 4-17 悬伸支承托座（牛腿）与钢柱的焊接连接图示

2. 连接计算

连接采用沿全周施焊的角焊缝连接，转角处连续施焊，没有起弧和落弧所引起的焊口缺陷，并假定全部剪力由支承托座腹板的连接焊缝承担，不考虑工字形翼缘端部绕转部分焊缝的作用。

设沿工字形悬伸支承托座全周角焊缝的焊脚尺寸为 $h_f = 10\mathrm{mm}$，$h_e = 0.7h_f = 7\mathrm{mm}$，则腹板连接焊缝的有效截面面积：

$$A_{ww} = 0.7 \times 10 \times (310 - 2 \times 15) = 3920\mathrm{mm^2}$$

全部焊缝对 x 轴的截面惯性矩近似地取：

$$I_{wx} = 2 \times 7 \times 200 \times 178.5^2 + 2 \times 7 \times (200) \times 151.5^2 + 7 \times (310 - 2 \times 15)^3 \times 2/12$$
$$= 1.8 \times 10^8\mathrm{mm^4}$$

焊缝在最外边缘“1”点处的截面抵抗矩：

$$W_{w1} = \frac{1.8 \times 10^8}{182} = 9.9 \times 10^5\mathrm{mm^3}$$

焊缝在腹板顶部“2”点处的截面抵抗矩：

$$W_{w2} = \frac{1.8 \times 10^8}{155} = 11.6 \times 10^5\mathrm{mm^3}$$

在偏心弯矩 $M_e = 700 \times 180 = 126\text{kN}\cdot\text{m}$ 作用下，角焊缝在“1”点处的最大应力：

$$\sigma_{M1} = \frac{M_e}{W_{w1}} = \frac{126 \times 10^6}{9.9 \times 10^5} = 127\text{N/mm}^2 < \beta_f f_f^w = 1.22 \times 200 = 244\text{N/mm}^2$$

在翼缘和腹板交接的角焊缝“2”点处在偏心弯矩 M_e 和剪力 $V(V = F)$ 共同作用下的应力为：

$$\sigma_{M2} = \frac{M_e}{W_{w2}} = \frac{126 \times 10^6}{11.6 \times 10^5} = 108.6\text{N/mm}^2$$

$$\tau_F = \frac{F}{A_{ww}} = \frac{700 \times 10^3}{3920} = 178.5\text{N/mm}^2$$

按公式（4-15）

$$\sigma_{f2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{M2}}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{108.6}{1.22}\right)^2 + 178.5^2} = 199 < f_f^w = 200\text{N/mm}$$

【例 4-5】　牛腿用螺栓的连接。

1. 设计资料

如图 4-18 所示的牛腿与柱用普通螺栓的连接设计

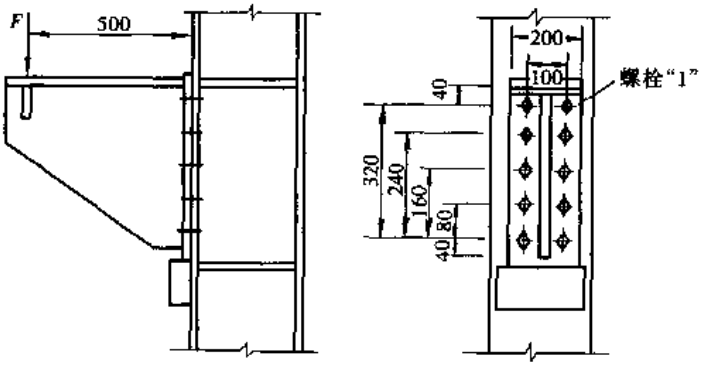


图 4-18

构件与螺栓的材料均为 Q235 号钢。采用粗制普通螺栓，螺栓直径 $d = 16\text{mm}$，孔径 $d_0 = 17\text{mm}$。

荷载设计值 $F = 60\text{kN}$。

2. 螺栓连接计算

螺栓群重心处的内力为：

由于连接板下设置支托，故剪力由支托焊缝传递。螺栓群承受的弯矩为：

$$M = 60 \times 0.5 = 30\text{kN}\cdot\text{m}$$

（1）由表 20-6 查得一个直径 $d = 16\text{mm}$ 的 C 级螺栓的抗拉设计承载力 $N_t^b = 26.6\text{kN}$。

按照公式（4-47）取 $N = 0$ 计算，螺栓“1”所受的拉力为：

$$N_{max} = \frac{My_1'}{\sum_{i=1}^{n} y_i'^2} = \frac{30 \times 10^3 \times 320}{2(80^2 + 160^2 + 240^2 + 320^2)} = 25.0\text{kN} < N_t^b = 26.6\text{kN}$$

（2）若将以上螺栓改成同直径的 8.8 级承压型高强度螺栓，则应按公式（4-46）取 $N = 0$ 计算

$$N_{max} = \frac{My_1}{\Sigma y_i^2} = \frac{30 \times 10^3 \times 160}{4(80^2 + 160^2)} = 37.5kN$$

按公式（4-33）$N_t^b = 0.8P$

表 4-12，$M16$ $P = 80kN$ $N_t^b = 0.8 \times 80 = 64kN > 37.5kN$ 可

（3）若取消图 4-18 中的支托，将螺栓改成同直径的 10.9 级摩擦型高强度螺栓，按表 4-10～4-12（喷砂后涂无机富锌漆）

$$N_v = \frac{60}{10} = 6kN$$

$$N_v^b = 0.9n_f\mu p = 0.9 \times 1 \times 0.35 \times 100 = 31.5kN > 6kN$$

$$N_t^b = 0.8P = 0.8 \times 100 = 80kN$$

按式(6-34)

$$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} = \frac{6}{31.5} + \frac{37.5}{80} = 0.66 < 1$$

【例题 4-6】 钢板用高强度螺栓摩擦型连接的连接设计。

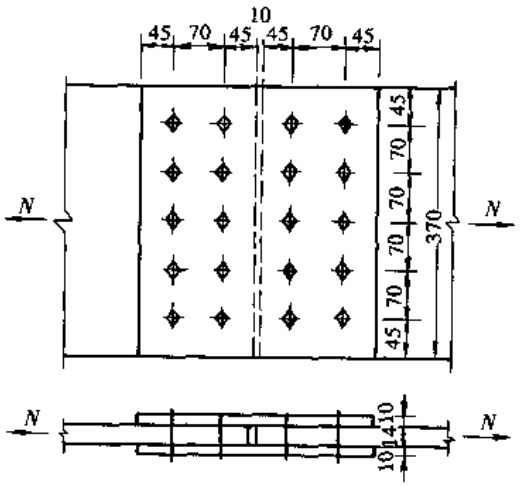


图 4-19

1. 设计资料

如图 4-19 所示双盖板拼接的钢板连接。

钢板钢材为 Q235 号钢。采用摩擦型高强度螺栓连接，螺栓性能等级为 10.9 级，M20。螺栓孔径 d_0 为 21.5mm。构件接触面经喷砂后涂无机富锌漆，按表 4-11，$\mu = 0.35$。

作用在螺栓群重心处的轴向拉力 $N = 800kN$。

2. 螺栓连接计算

由表 4-12 查得一个 M20 的 10.9 级高强度螺栓的预拉力 $P = 155kN$，按公式（4-32）计算的一个螺栓承载力设计值为：

$$N_v^b = 0.9n_f\mu P = 0.9 \times 2 \times 0.35 \times 155 = 97.7kN$$

一个螺栓所受的剪力为：

$$N_v = \frac{N}{n} = \frac{800}{10} = 80kN < N_v^b = 97.7kN$$

按 4.3.2 条拼接连接一侧的 $l_1 < 15d_0$，故可不乘以 α_n

3. 钢板截面强度计算

钢板净截面面积为：

$$A_n = A - n_1 d_0 t = 370 \times 14 - 5 \times 21.5 \times 14 = 3675mm^2$$

按公式（3-42）和公式（3-43）计算的钢板强度为：

$$\sigma = \frac{\left(1 - 0.5\frac{n_1}{n}\right)N}{A_n} = \frac{\left(1 - 0.5\frac{5}{10}\right) \times 800 \times 10^3}{3675} = 163\text{N/mm}^2 < 215\ \text{N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{800 \times 10^3}{370 \times 14} = 154\text{N/mm}^2 < 215\ \text{N/mm}^2$$

【例题 4-7】　钢板用高强度螺栓承压型连接的连接设计

1. 设计资料

如图 4-19 所示双盖板拼接的钢板连接。

钢板钢材为 Q235 号钢。采用承压型高强度螺栓，螺栓性能等级为 8.8 级，M20，$P = 125\text{kN}$。其余条件及螺栓群重心处内力值均与［例题 4-6］相同。

2. 螺栓连接计算

按公式（4-35）和公式（4-36）计算的螺栓受剪承载力设计值和承压承载力设计值为：

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d_e^2}{4} f_v^b = 2 \times \frac{\pi \times 17.65^2}{4} \times 250 = 122.5 \times 10^3\text{kN}(f_v^b、d_e\text{ 分别见表 2-6，表 4-9})$$

$$N_c^b = d\Sigma t \cdot f_c^b = 20 \times 14 \times 470 = 131 \times 10^3\text{kN}(f_c^b\text{ 见表 2-6})$$

一个螺栓所承受的剪力为：

$$N_v = \frac{N}{n} = \frac{800}{10} = 80\text{kN} < 122.5\text{kN}$$

3. 钢板净截面强度计算

钢板净截面面积为：

$$A_n = A - n_1 d_0 t = 370 \times 14 - 5 \times 21.5 \times 14 = 3675\text{mm}^2$$

按公式（3-41）计算的钢板净截面强度为：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{800 \times 10^3}{3675} = 217.7\text{N/mm}^2 \approx 215\text{N/mm}^2$$

第2篇　单层房屋钢结构设计

- 5　单层房屋钢结构的组成
- 6　单层房屋的屋面
- 7　屋盖结构
- 8　吊车梁
- 9　门式刚架
- 10　排架柱
- 11　墙架
- 12　工作平台结构
- 13　制作、运输、安装、防锈和防火

5 单层房屋钢结构的组成

5.1 概述和受力体系

5.1.1 一般说明

单层钢结构房屋可分为民用房屋和工业房屋两种，在目前我国国内单层民用房屋采用钢结构的还比较少，但在国外，特别是美英等西方国家，钢结构已广泛应用于学校、公共建筑、大型超市、体育馆等民用建筑。随着我国经济的迅速发展，单层民用房屋采用钢结构的数量将会逐步增加。

5.1.2 结构受力体系

单层钢结构房屋主要是由横向结构和纵向结构系统组成。横向结构系统是排架（包括屋架或横梁、天窗架和柱），它是单层房屋的基本承重结构，承受屋面荷载、横向风荷载和地震作用，在有吊车的工业房屋中还要承受吊车的竖向荷载和横向水平荷载。纵向结构系统是由柱、托架（用于大柱距）、柱间支撑、墙梁等构成。工业房屋内除上述构件外，还有吊车梁及吊车制动梁或桁架等构件。此外，还有房屋外围墙架及屋面支撑，共同组成空间刚性骨架，详见图 5-1 和图 5-2。

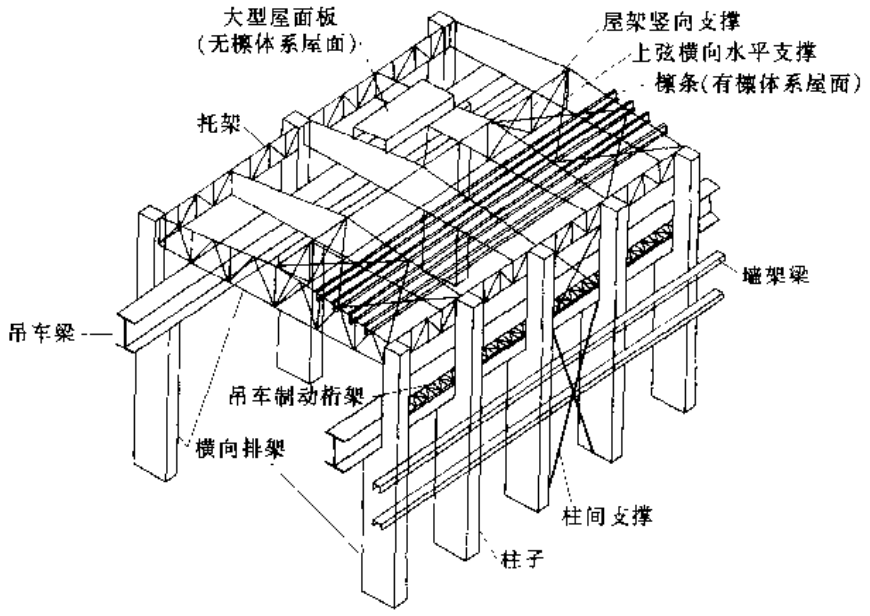
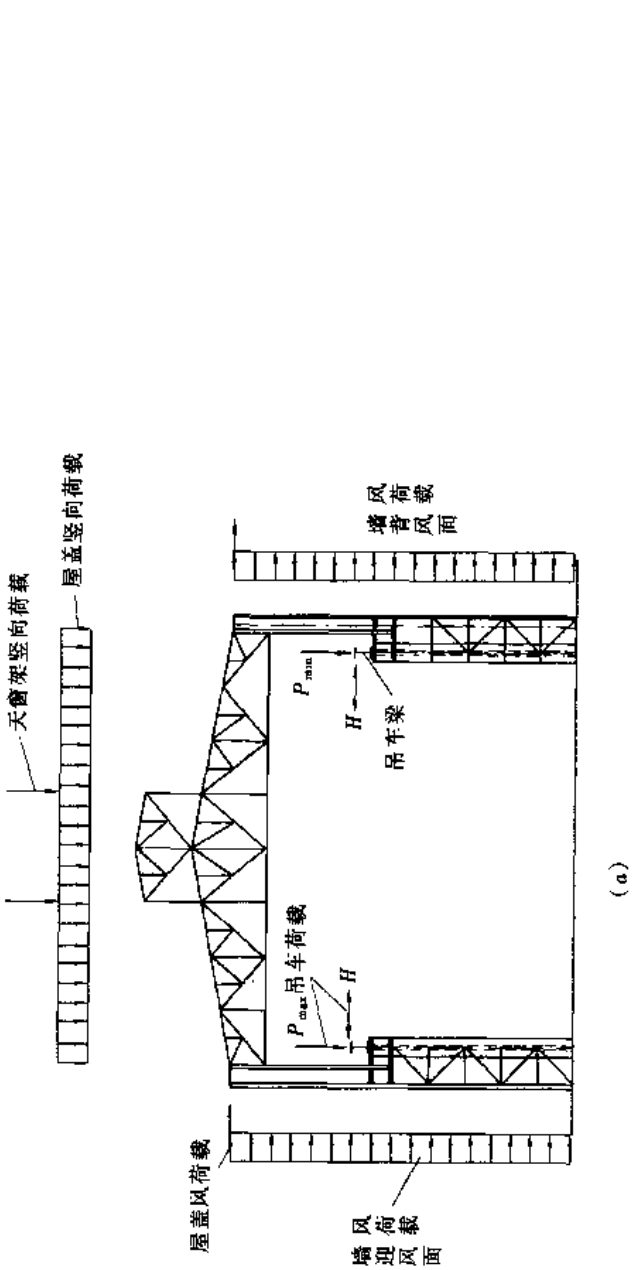


图 5-1 单层钢结构房屋透视图

其中屋盖结构是由屋面材料、檩条、屋架、托架（用于大柱距）和天窗架等构件组成。根据屋面材料的不同，屋盖可分为有檩体系和无檩体系两大类。当屋面材料采用石棉瓦、瓦楞铁、压型钢板（夹心钢板）、钢丝网水泥板或小型混凝土板时，屋面荷载要通过



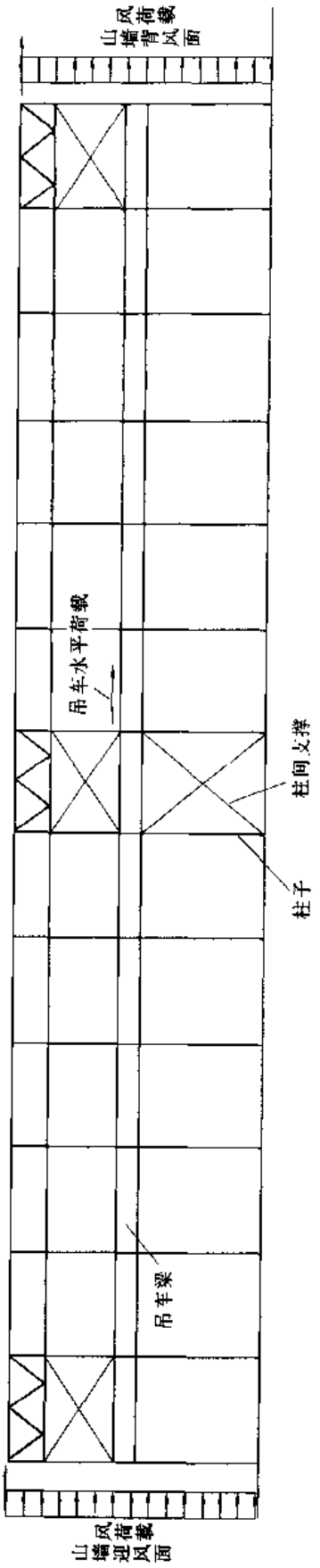


图 5-2 结构受力体系
(a) 横向结构系统；(b) 纵向结构系统

檩条传给屋架，这种屋盖结构称为有檩体系；若屋面材料采用大型屋面板（含太空板）、预应力空心混凝土板时，屋面荷载可直接通过屋面板传给屋架而无需檩条，这种屋盖结构称为无檩体系。

吊车梁和制动梁（桁架）是承受吊车的竖向荷载及水平荷载。外围墙架是承受墙体的重量和风力，墙体一般可采用砌块（混凝土、陶粒混凝土）、太空板、压型钢板、聚苯乙烯板等。墙体结构同样可分：有墙梁和无墙梁体系。

排架柱在基础处通常做成固定端，柱顶与屋架或横梁的连接可以做成铰接，也可以做成刚接。柱的上下两端均为刚接的排架，可以增加刚度和节约钢材。通常在采用重屋盖的刚接排架中，为了减少柱上墙的弯矩，可以在屋盖结构安装完毕后再将柱顶刚接，以减少由屋盖静荷载所产生的柱顶固端弯矩。

5.1.3　排架形式

房屋的排架是由屋架或横梁和柱组成。根据建筑物功能的要求，有单跨和多跨排架，根据结构设计的要求，有铰接排架和刚接排架两种，见图 5-3。

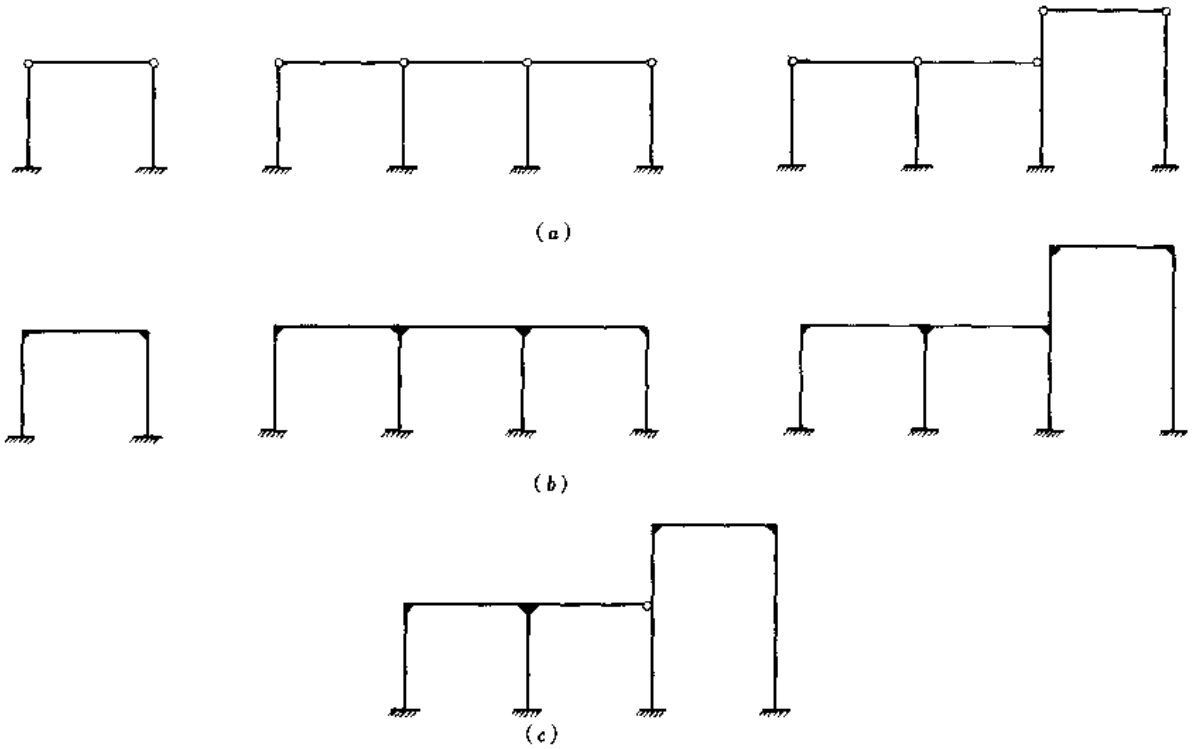


图 5-3　排架形式示意图

(a) 铰接排架；(b) 刚接排架；(c) 刚接和铰接排架

5.1.4　排架几何尺寸

对于民用房屋排架的几何尺寸主要是，建筑师根据建筑物功能的需要面定。对于有吊车的工业房屋排架的主要尺寸，如图 5-4 所示，其中 S 为吊车桥架的跨度，也即吊车两端轮子之间的距离（厂房两侧吊车轨道中心之间的距离），B 为吊车轮子中心至桥架端部的长度，H_1 为自轨道顶标高至吊车最高顶点的距离，以上尺寸均需由吊车生产厂提供，一般生产厂的产品样本中均已列出。C 为吊车桥架墙部外边和上段柱内边缘之间的净空尺

寸，当吊车梁顶设置人行安全通道时，$C \geqslant 400$mm，当该处不设人行安全通道时，$C \geqslant 80$mm，h 为吊车活动部分顶面和屋架下弦底面之间的净空尺寸，一般取 250～350mm，但若房屋设置在软弱地基或黄土地基时或因地面荷载较大，可能引起房屋的不均匀沉陷时，h 值还应适当加大。e 为边柱轴线至柱外边的距离，一般取 0～750mm，视房屋内吊车吨位的大小而定。

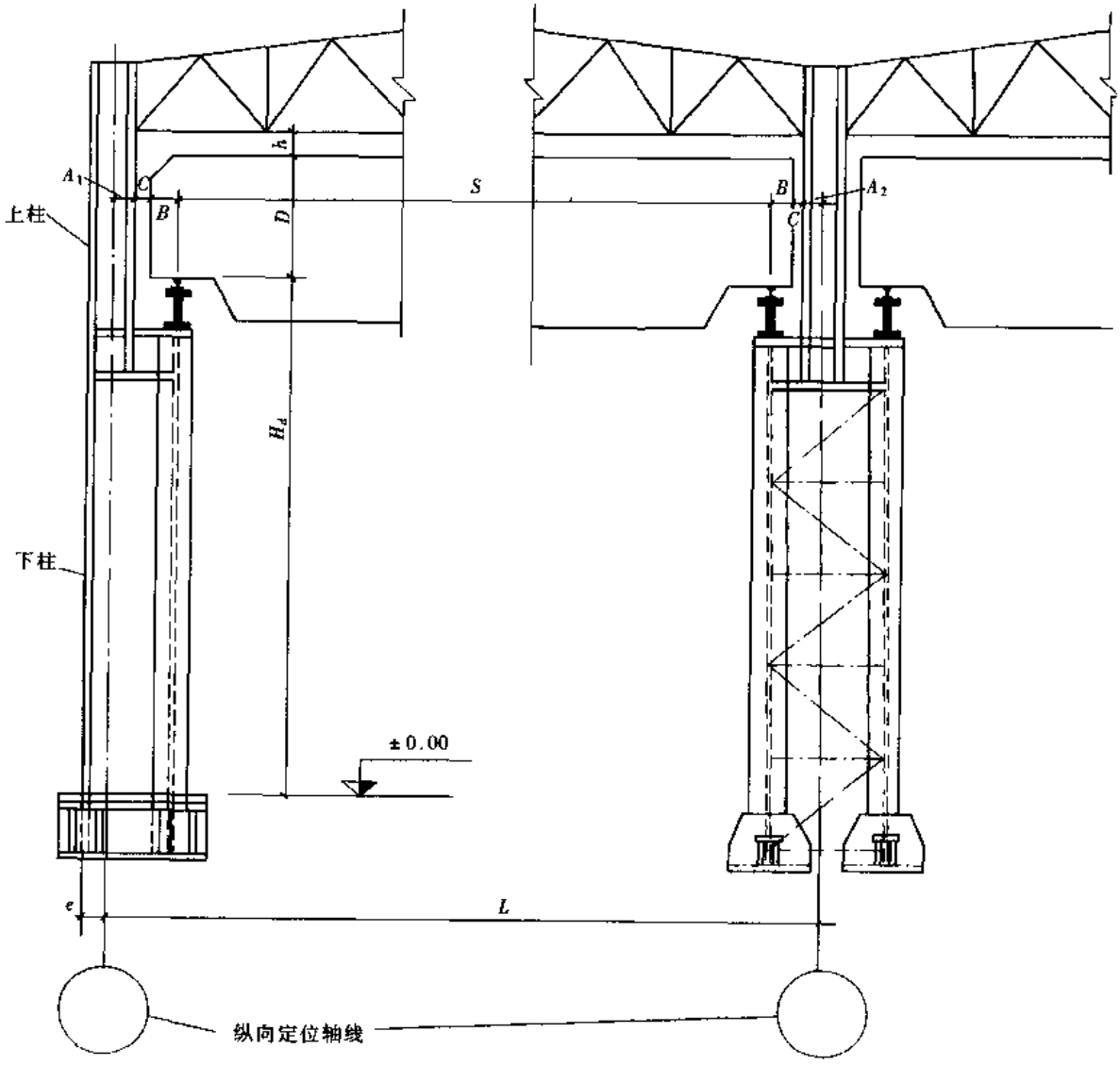


图 5-4 有吊车的排架主要几何尺寸

房屋横向排架的跨度 L 为：

$$L = S + A_2 + A_1 + 2B + 2C \tag{5-1}$$

房屋的有效高度 H 为房屋室内地面至屋架下弦底面的距离可按下式计算：

$$H = H_d + D + h \tag{5-2}$$

5.1.5 排架定位轴线和柱网布置

排架定位轴线包括横向和纵向定位轴线两种，与房屋横向结构平行的轴线为横向定位轴线，与房屋纵向结构平行的轴线为纵向定位轴线。纵向定位轴线之间的距离为房屋的横

向跨度，也即排架的跨度，横向定位轴线之间的距离为柱距，详见图 5-5。柱网布置就是确定定位轴线的具体位置。进行柱网布置时，应遵循下列原则：

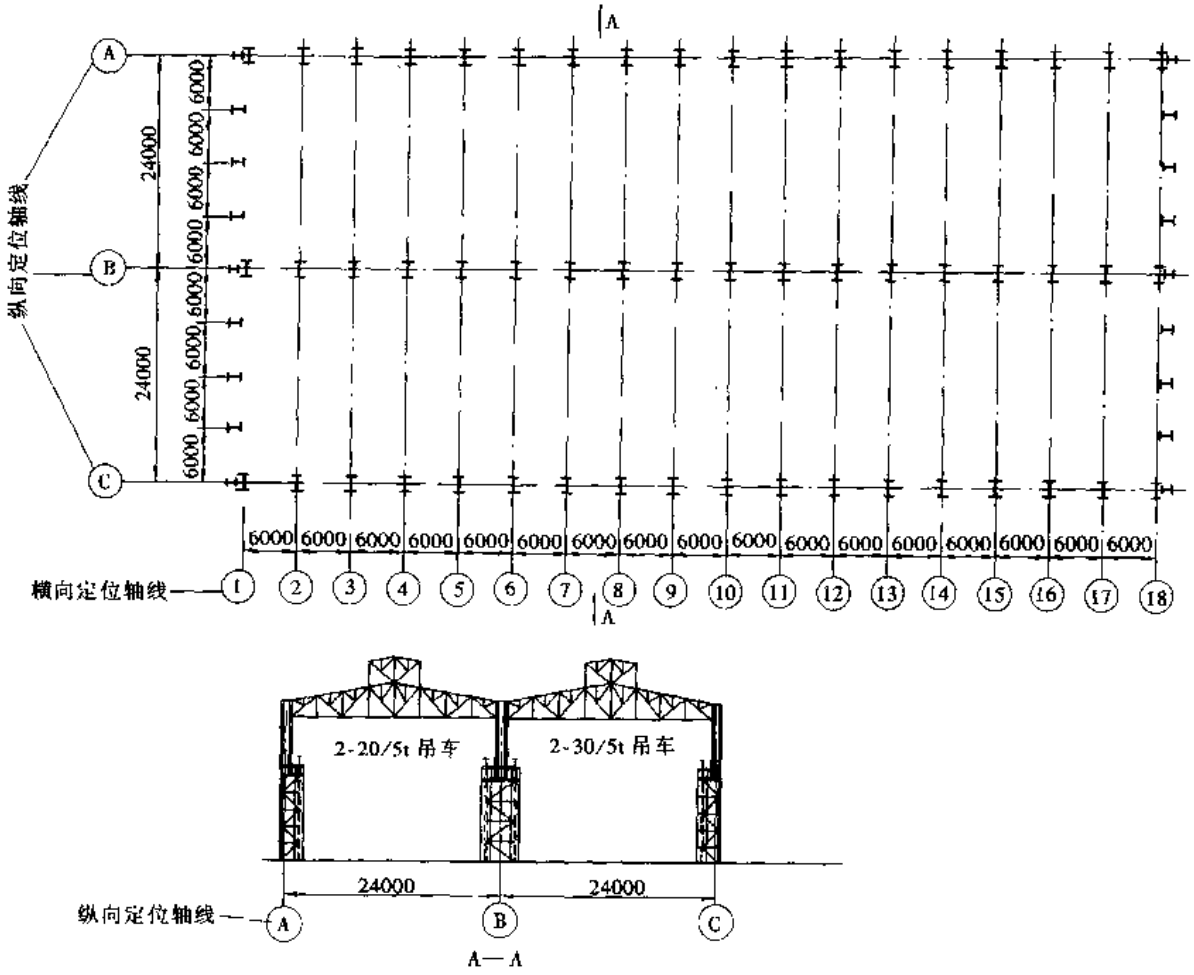


图 5-5　柱网布置实例

1. 满足生产工艺的要求。柱的位置要与生产流程及设备布置相协调，并需考虑生产发展的可能性；

2. 满足结构本身的要求。为保证房屋的正常使用，使房屋的结构具有足够的横向刚度，应尽可能将柱布置在同一横向轴线上，以使柱与屋架或横梁组成横向排架，同时宜符合现行规范规定的伸缩缝区段。

3. 符合经济合理的要求，根据以往设计资料的统计表明，屋盖的单位面积用钢量随房屋跨度增大而增加，而吊车梁与柱的单位面积的用钢量却是随房屋跨度增大而减少。在一般情况下，增大房屋的跨度，可以减少总的用钢量，特别是目前新型的屋面材料，较传统的大型屋面板减轻自重十分可观，更能显示出加大房屋跨度的优越性。增大房屋跨度既能节省钢材，又能增加房屋的有效面积和生产工艺的灵活性；

4. 遵守《厂房建筑统一化基本规则》和《建筑统一模数制》的规定，使结构构件标准化。根据建筑统一模数制的规定，一般房屋跨度≤18m 时，其跨度采用 3m 的倍数，跨度大于 18m 时采用 6m 的倍数。柱距一般采用 6m 或 6m 的倍数。如图 5-5 所示。温度缝应按第 2 章表 2-17 规定设置。

5.2 排 架 荷 载

5.2.1 一般说明

作用在排架上的荷载有永久荷载和可变荷载两种，在地震区还有地震作用。永久荷载包括屋面、墙体、结构等自身的重量，在工业房屋中还可能有管道和设备等重量。可变荷载包括有雪荷载、积灰荷载、屋面活荷载、吊车的竖向荷载、吊车横向水平荷载和风荷载等。

5.2.2 永久荷载（恒荷载）

1. 屋架、天窗架、托架及其支撑的重力标准值，按均布荷载计算，可参考表 5-1 选用。

屋盖结构构件自重参考表（kg/m²） 表 5-1

屋盖构件名称	构件跨度（m）	屋面均布荷载标准值（kN/m²）			
		1.1～1.5	1.5～3.0	3.0～4.0	4.0～5.0
屋架（包括支撑）	9	7～10	10～14	14～20	
	18	12～18	18～22	22～28	28～32
	24	18～22	22～28	28～34	34～38
	30	23～28	28～34	34～40	40～46
	36	28～32	32～38	38～44	44～50
檩 条	6	5～8	8～12	12～14	14～17
托 架	12	5～9	9～13	13～16	16～20
天窗架（包括支撑）	6	7～10	10～12	12～14	14～16
	9	9～12	12～14	14～16	16～18
	12	11～14	14～16	16～18	18～20

2. 吊车梁系统的自重，包括吊车梁、制动梁或制动桁架、吊车轨道及其附件的自重，其标准值可按设计的吊车梁和吊车轨道单位长度之和乘以 1.2 即可，其单位为 kN/m，如果吊车为重级工作制，则其自重标称值还需增加 20%。

3. 柱自重可根据设计中选用的截面计算出的自重，按下列情况，乘以柱附件的增加系数：等截面柱为 1.1；阶形柱的上柱为 1.1，下柱为 1.4。

4. 其他荷载 如支承在排架柱上的操作平台，设备等自重，可按实际情况计算。

5.2.3 可变荷载（活荷载）

1. 风荷载 作用在排架上的风荷载，其基本风压、风荷载标准值、风载体型系数等，应按国家标准《建筑结构荷载规范》50009—2001 采用。为了简化计算，可将作用在柱整个高度上的均布梯形风荷载折算为矩形均布风荷载，作用在屋架和天窗架上的风荷载，可换算成集中力作用在排架柱顶上。上述风荷载应按左边风和右边风两种情况分别作用在排架上进行计算，最后在排架内力组合时，取其中不利的一种情况进行组合。

2. 屋面上的雪荷载、积灰荷载和活荷载应按国家标准《建筑结构荷载规范》50009—2001 采用。雪荷载一般不与屋面活荷载同时组合，而是取其两者中的较大值。

3. 吊车荷载　计算吊车的竖向和横向荷载标准值时，应按同一跨间内起重量最大的两台吊车紧靠时作用在排架柱上的最大反力和最小反力（竖向荷载），考虑因为在同一跨间的一列柱上作用由吊车最大轮压 $P_{i\max}$ 所产生的最大反力 $R_{\max}$ 时，相应地在对面另一列柱上则同时作用由吊车最小轮压 $P_{i\min}$ 产生的最小反力 $R_{\min}$。吊车一个轮子的最大轮压 $P_{i\max}$，可按吊车生产厂的产品目录上查得，而吊车一个轮子的最小轮压 $P_{i\min}$，可按下式计算：

$$P_{i\min} = P_{i\max}\left(\frac{Q+G}{\sum_{i=1}^{n} P_{i\max}} - 1\right) \tag{5-3}$$

式中　Q——吊车额定起重量；

G——吊车总重（包括吊车桥架、小车和电气设备重量的总和）；

$P_{i\max}$——第 i 个吊车轮的最大轮压值；

$\Sigma P_{i\max}$——吊车桥架一侧所有吊车轮（$P_1 \cdots\cdots P_n$）最大轮压的总和。

设有双层吊车的房屋，要考虑上层吊车满载、下层吊车不存在，以及下层吊车满载、上层吊车空载并处于最不利位置的两种情况在排架柱上所产生的竖向荷载，最后取其不利情况进行排架内力组合。

吊车横向水平荷载是由吊车上的小车刹车时产生的荷载，按全部作用在两侧轨道上，并按正负两个方向都有可能发生的情况考虑。计算同一跨内任一列排架柱上所作用的横向水平荷载与求竖向荷载时的吊车轮压作用位置相同。每个吊车轮的横向水平荷载标准值应按下式计算：

$$T = \zeta\frac{Q+G}{n} \tag{5-4}$$

式中　n——吊车的总轮数；

ζ——系数，对于软钩吊车：

当吊车额定起重量不大于 10t 时，应取 0.12，

当吊车额定起重量为 16～50t 时，应取 0.10，

当吊车额定起重量不小于 75t 时，应取 0.08，

对于硬钩吊车：应取 0.20。

计算排架考虑多台吊车竖向荷载时，对一层吊车单跨厂房的每个排架，参与组合的吊车台数不宜多于 2 台，对一层吊车的多跨厂房的中列排架柱，不宜多于 4 台。考虑多台吊车水平荷载时，对单跨或多跨厂房的每个排架，参与组合的吊车台数不应多于 2 台。当情况特殊时上述荷载应按实际情况考虑。在计算排架时，多台吊车的竖向荷载和横向水平荷载的标准值，应乘以表 5-2 中规定的折减系数。

多台吊车的荷载折减系数　　表 5-2

参与组合的吊车台数	吊车工作级别	
	A1～A5	A6～A8
2	0.9	0.95
3	0.85	0.90
4	0.8	0.85

5.2.4 地震作用

位于地震区的房屋，应考虑地震作用，可按国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 确定，但不与风荷载同时考虑。

5.2.5 排架上的其他荷载：

1. 当房屋的地基土为软弱土壤时，基础可能会产生差异沉降，则应考虑其对排架内力的影响；

2. 当房屋排架的横向或纵向长度超过允许的温度区段长度而未设伸缩缝时，则应计算排架的温度应力。

5.2.6 排架的荷载组合

1. 由可变荷载效应控制的组合：

$$S = 1.2S_{Gk} + 1.4S_W \tag{5-5}$$

$$S = 1.2S_{Gk} + 0.9 \times 1.4[S_W + (S_S \text{ 或 } S_L) + S_C + S_D] \tag{5-6}$$

2. 由永久荷载效应控制的组合：

$$S = 1.35S_{Gk} + 1.4[0.6S_W + 0.7(S_S \text{ 或 } S_L) + \psi_C S_C + \psi_D S_D] \tag{5-7}$$

3. 与地震作用组合时：

$$S = 1.2[S_{Gk} + (S_S \text{ 或 } S_L) + S_C + S_D] + 1.3\gamma_{RE}S_{Ehk} \tag{5-8}$$

式中 S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值；

S_{Gk}——按永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_W——按风荷载标准值计算的荷载效应值；

S_S——按雪荷载标准值计算的荷载效应值；

S_L——按屋面活荷载标准值计算的荷载效应值；

S_C——按吊车荷载标准值计算的荷载效应值；

S_D——按屋面积灰荷载标准值计算的荷载效应值；

ψ_C——吊车荷载组合值系数：对于工作级别 A1～A7 的软钩吊车，取 0.7；对于硬钩吊车及工作级别 A8 的软钩吊车，取 0.95；

ψ_D——积灰荷载组合值系数；对于高炉车间，取 1.0；对于其他产生粉尘车间，取 0.9；

S_{Ehk}——按水平地震作用标准值计算的地震作用效应值；

γ_{RE}——承载力抗震调整系数，对于横梁和柱，取 0.75。

5.2.7 排架的内力组合

在进行柱各控制截面及刚接排架横梁端部截面的内力组合时，可按下列不同情况确定：1. 在验算柱截面时应考虑以下组合中的不利组合之一：

(1) 最大正弯矩 + M_{max}和相应的轴向力 N、剪力 V；

(2) 最大负弯矩 - M_{max}和相应的轴向力 N、剪力 V；

(3) 最大轴向力 N_{max}和相应的正弯矩 + M、剪力 V；

(4) 最大轴向力 N_{max}和相应的负弯矩 - M、剪力 V；

2. 计算柱脚锚栓的最不利组合为：

最小轴向力 N_{min}和相应的最大正弯矩 + M_{max}（或最大负弯矩 - M_{max}）。

6 单层房屋的屋面

为了减小承重结构的截面尺寸、节约钢材，除个别有特殊要求者外，首先应采用轻型屋面。轻型屋面的材料宜采用轻质高强，耐火、防火、保温和隔热性能好，构造简单，施工方便，并能工业化生产的建筑材料。如压型钢板、瓦楞铁和各种石棉水泥瓦。在我国由于料源和运输的限制，有时还需沿用传统的粘土瓦或水泥平瓦。

1965年后我国曾普遍应用过钢丝网水泥波形瓦和预应力混凝土槽瓦等自防水构件作为轻型屋面的瓦材，获得了较好的经济指标，也取得了一定的经验。但这些屋面的自重还不够轻，在防水、保温和隔热性能等方面还需要进一步改进。近年来我国又正逐步推广使用加气混凝土板、夹芯板和各种轻质发泡水泥复合板。

6.1 国内曾采用过的几种屋面材料

6.1.1 粘土瓦或水泥平瓦

这种屋面瓦的自重0.55kN/m^2，是一种传统型材料。由于取材、运输、施工都比较方便，适应性强，特别适用于零星分散的、机械化施工水平不高的建设项目和地方性工程。因此，目前还有一定的应用价值。

6.1.2 木质纤维波形瓦

这种屋面瓦的自重0.08kN/m^2。它是在木质纤维内加酚醛树脂和石蜡乳化防水剂后预压成型，再经高温高压制成的。其特点是能充分利用边角料，具有轻质高强、耐冲击和一定的防水性能，运输和装卸无损耗，适用于料棚、仓库和临时性建筑。这种瓦的缺点是易老化，耐久性差；对屋面定时使用涂料进行维护保养，一般可使用十年左右。

6.1.3 石棉水泥波形瓦

这种屋面瓦的自重0.20kN/m^2。它在国内外都属于广泛采用的传统型材料；具有自重轻、美观、施工简便等特点；除适用于工业和民用建筑的屋面材料外，还可以作墙体维护材料。石棉瓦的材性存在着脆性大，易开裂破损，因吸水而产生收缩龟裂和挠曲变形等缺点。国外通过对原材料成分的控制、掺加耐加剂，进行饰面处理和改革生产工艺等，可使石棉瓦有较好的技术性能。目前，我国石棉瓦的产量不多，有些质量还不够高，正在积极研究采取措施，以扩大生产，提高质量。有些工程在石棉瓦下加设木望板，以改善其使用效果，也便于检查和维修。

6.1.4 加筋石棉水泥中波瓦

这种屋面瓦的自重0.20kN/m^2，是在过去试制的加筋小波瓦发展起来的新品种；这种瓦于1975年经国家建材总局鉴定，在上海石棉瓦厂定点生产。它是全部利用短纤维石棉加一层(mm)：ϕ1.4×15×15钢丝网(合2kg/m^2)制成的，比一般石棉瓦大大提高了抗折强度，改变了受荷破坏时骤然脆断的现象，也减少了运输安装过程中的损耗率。它的最大支点距离

可达 1.5m，比不加筋石棉瓦增大近一倍，故在工程中总的用钢量并没有增加，而且适用于高温和振动较大的车间。这是一种有发展前途的瓦材，但目前它的成本仍稍高。

6.1.5 压型钢板

压型钢板是采用镀锌钢板、冷轧钢板、彩色钢板等作原料，经辊压冷弯成各种波形的压型板，具有轻质高强、美观耐用、施工简便、抗震防火的特点。它的加工和安装已做到标准化、工厂化、装配化。

我国的压型钢板是由冶金工业部建筑研究总院首先开发研制成功的，至今已有十多年历史。目前已有国家标准《建筑压型钢板》和部颁标准《压型金属板设计施工规程》，并已正式列入《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018—2002 中使用。

压型钢板的截面呈波形，从单波到 6 波，板宽 360～900mm。大波为 2 波，波高 75～130mm，小波（4～7 波）波高 14～38mm，中波波高达 51mm。板厚 0.6～1.6mm（一般可用 0.6～1.0mm）。压型钢板的最大允许檩距，可根据支承条件、荷载及芯板厚度，由产品规格中选用，详见表 6-1。

压型钢板的重量为 0.07～0.14kN/m^2。分长尺和短尺两种。一般采用长尺，板的纵向可不搭接。适用于平坡的梯形屋架和门式刚架。

6.1.6 夹芯板

实际上这是一种保温和隔热与面板一次成型的双层压型钢板。由于保温和隔热芯材的存在，芯材的上、下均需加设钢板。上层为小波的压型钢板，下层为小肋的平板。芯材可采用聚氨酯、聚苯或岩棉，芯材与上下面板一次成型。也有在上下两层压型钢板间在现场增设玻璃棉保温和隔热层的做法，但这种做法仍属加设保温层的压型钢板系列。夹芯板的板型见表 6-2。

夹芯板的重量为 0.12～0.25kN/m^2。一般采用长尺，板长不超过 12m，板的纵向可不搭接，也适用于平坡的梯形屋架和门式刚架。

6.1.7 钢丝网水泥波形瓦

这种屋面瓦的自重 0.40～0.50kN/m^2，是采用 10mm×10mm 钢丝网（最好用点焊网）和 42.5 级水泥砂浆振动成型的。瓦厚平均 15mm 左右，瓦型类似石棉水泥大波瓦。为了提高瓦的强度和抗裂性，瓦型由开始时六波改为现在的四波和三波。生产这种瓦的设备简单，施工方便，技术经济指标好。在保证操作要求的情况下，瓦的质量和耐久性能符合一般工业房屋的使用要求。但有些单位反映，目前尚存在一些问题，如：制作时钢丝网易回弹露筋，起模运输吊装过程中易产生裂缝且损耗较多，以及在长期使用过程中因大气作用而出现钢丝网锈蚀和砂浆起皮脱壳等现象，有待研究改进。

6.1.8 预应力混凝土槽瓦

这种屋面瓦的自重 0.85～1.0kN/m^2。它的最大优点是构造简单，施工方便，能长线叠层生产。在上世纪的 60 年代后半期经大量推广应用，发现部分槽瓦有裂、渗、漏等现象。目前经改进的新瓦型，一般在制作时采用振、滚、压的方法，起模运输时采取整叠出槽、整叠运输、整叠堆放以及双层剥离等措施，大大提高瓦的质量，减少瓦的裂缝和损耗，在建筑防水构造上也做了相应的改进。此外，还有采用高心法生产的预应力混凝土槽瓦，对发展机械化生产，提高混凝土密实性和构件强度都有较大的帮助。经改进后的槽瓦具有一定的推广价值，可用于一般保温和隔热要求不高的工业和民用建筑中。

6.1.9　GRC板

所谓GRC（Glass Fiber Reinforced Cement）是指用玻璃纤维增强的水泥制品。目前GRC网架板的面板是用水泥砂浆作基材、玻璃纤维作增强材料的无机复合材料，肋部仍为配筋的混凝土。市场上有两种产品：一种GRC复合板就是上述的含义，仅面板为玻璃纤维与水泥砂浆的复合，由于板本身不隔热（或保温），尚需在面板上另设隔热、找平及防水层。第二种GRC复合夹芯板，是将隔热层贴于面板下面或在上下面板的中间，使板具有隔热作用，使用时只需在面板上部设防水层。对于保温的GRC板，其全部荷载比上述另加保温层的第一种GRC板为轻。

6.1.10　加气混凝土层面板

这种屋面板的自重0.75～1.0kN/m^2，是一种承重、保温和构造合一的轻质多孔板材，以水泥（或粉煤灰）、矿渣、砂和铝粉为原料，经磨细、配料、浇筑、切割并蒸压养护而成，具有容重轻、保温效能高、吸音好等优点。这种板因系机械化工厂生产，板的尺寸准确，表面平整，一般可直接在板上铺设卷材防水，施工方便。日前国外多以这种板材作为屋面和墙体材料。

6.1.11　发泡水泥复合板（太空板）

这是承重、保温、隔热为一体的轻质复合板；是一种由钢或混凝土边框、钢筋桁架、发泡水泥芯材、玻纤网增强的上下水泥面层复合而成的建筑板材，可应用于屋面板、楼板和墙板中。通过多次静力荷载、动力荷载及保温、隔热、隔声、耐火等一系列试验表明，这种板的刚度、强度和使用性能均符合国家相关技术规范的要求。

初步统计，该板自1995年至今已在全国应用了200余万m^{2}的屋面，且呈逐年增长的趋势。现已编制成国家标准专用构件图集02ZG710。它的品种有3.0m×3.0m的网架板、1.5m×6.0m、1.5m×7.5m和3.0×6.0m的大型屋面板、1.5m×6.0m和1.5m×7.5m的大型墙板。当柱距大于7.5m时还有可采用由檩条或墙梁支承的条形屋面板或条形墙板。屋面板的重量为0.6～0.72kN/m^2，上铺0.1kN/m^{2}的SBS改性沥青防水卷材，可承受1.0～5.0kN/m^{2}的外荷载设计值，墙板的重量为1.1kN/m^2。

6.1.12　混凝土屋面板

板跨小于4m的网架板可采用周边带肋的槽形板、田字板或井字板。板跨为6m的工业房屋中一般采用1.5m×6.0m的预应力混凝土大型屋面板。混凝土屋面板需另设找平和隔热层，加上铺小石子的油毡防水层，重量为2.5～3kN/m^2，致使屋盖承重结构截面尺寸较大。由于大型屋面板的应用历史久，适应场合广，故还有保留其应用的地方。

除上述提到的几种常用瓦材外，还有塑料瓦和瓦楞铁。前者较柔软，安装不便，老化问题较严重，多用于临时性建筑；后者锈蚀严重。

6.2　压型钢板和夹芯板的板型及檩距

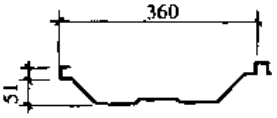
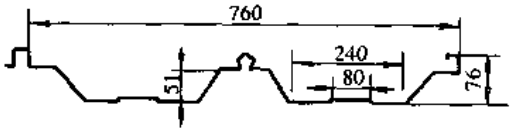
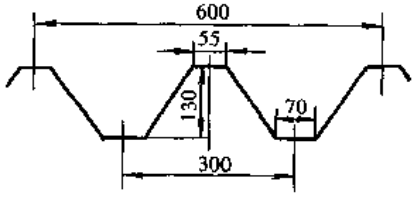
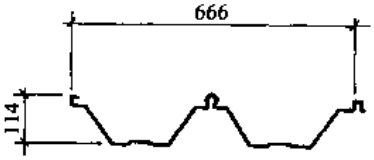
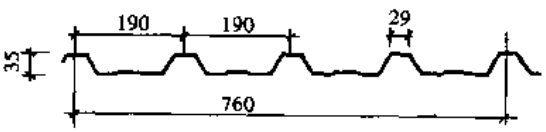
6.2.1　压型钢板

详见表6-1。

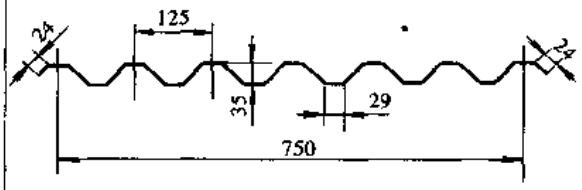
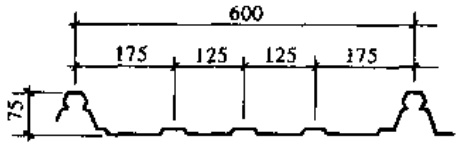
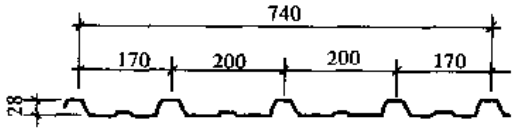
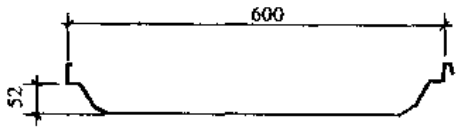
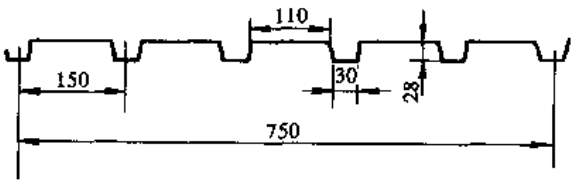
6.2.2　夹芯板

详见表6-2。

常用压型钢板型及檩距 表 6-1

序号	板型	截面形状 (mm)	钢板厚度 (mm)	支撑条件	荷载(kN/m^2)/檩距(m) 荷载(kN/m^2) 0.5	1.0	1.5	2.0
1	YX51-360(角弛Ⅱ)	 适用于:屋面板	0.6	悬臂	1.54	1.26	1.12	0.98
				简支	3.36	2.66	2.38	2.10
				连续	4.06	3.22	2.80	2.52
			0.8	悬臂	1.68	1.40	1.12	1.10
				简支	3.78	2.94	2.52	2.38
				连续	4.48	3.50	3.08	2.80
			1.0	悬臂	1.82	1.40	1.26	1.12
				简支	4.06	3.22	2.80	2.52
				连续	4.76	3.78	3.22	2.94
2	YX51-380-760(角弛Ⅱ)	 适用于:屋面板	0.6	悬臂	1.53	1.25	1.11	0.97
				简支	3.34	2.64	2.36	2.09
				连续	4.03	3.20	2.78	2.50
			0.8	悬臂	1.58	1.32	1.16	1.05
				简支	3.56	2.77	2.38	2.24
				连续	4.22	3.30	2.90	2.64
			1.0	悬臂	1.66	1.28	1.19	1.12
				简支	3.71	2.94	2.56	2.30
				连续	4.35	3.46	2.94	2.69
3	YX130-300-600(W600)	 适用于:屋面板	0.6	悬臂	2.8	2.2	1.9	1.7
				简支	6.0	4.7	4.1	3.7
				连续	7.1	5.6	4.9	4.4
			0.8	悬臂	3.1	2.5	2.1	1.9
				简支	6.7	5.3	4.6	4.2
				连续	7.9	6.3	5.5	5.0
			1.0	悬臂	3.4	2.7	2.3	2.1
				简支	7.3	5.8	5.0	4.6
				连续	8.6	6.8	6.0	5.4
4	YX114-333-666	 适用于:屋面板	0.6	简支	4.5	3.5	3.1	2.8
				连续	5.3	4.2	3.7	3.3
			0.8	简支	5.0	4.0	3.5	3.2
				连续	5.9	4.7	4.1	3.8
			1.0	简支	5.5	4.1	3.8	3.5
				连续	6.5	5.1	4.5	4.1
5	YX35-190-760	 适用于:屋面板	0.6	悬臂	1.0	0.8	0.7	0.6
				简支	2.3	1.8	1.6	1.4
				连续	2.8	2.4	1.9	1.7
			0.8	悬臂	1.1	0.9	0.7	0.7
				简支	2.6	2.0	1.7	1.6
				连续	3.1	2.4	2.1	1.9
			1.0	悬臂	1.2	0.9	0.8	0.7
				简支	2.8	2.2	1.9	1.7
				连续	3.3	2.6	2.2	2.0

续表.

序号	板型	截面形状(mm)	荷载(kN/m²)/檩距(m) 钢板厚度(mm)	支撑条件	荷载(kN/m²) 0.5	1.0	1.5	2.0
6	YX35-125-750	 适用于:屋面板(或墙板)	0.6	悬臂	1.1	0.9	0.8	0.7
				简支	2.4	1.9	1.7	1.5
				连续	2.9	2.3	2.0	1.8
			0.8	悬臂	1.2	1.0	0.8	0.8
				简支	2.7	2.1	1.8	1.7
				连续	3.2	2.5	2.2	2.0
			1.0	悬臂	1.3	1.0	0.9	0.8
				简支	2.9	2.3	2.0	1.8
				连续	3.4	2.7	2.3	2.1
7	YX75-175-600(AP600)	 适用于:屋面板	0.47	简支		2.2	风荷载0.5	
						1.8	风荷载1.0	
			0.53	简支		3.0	风荷载0.5	
						2.0	风荷载1.0	
			0.65	简支		3.7	风荷载0.5	
						2.2	风荷载1.0	
8	YX28-200-740(AP740)	 适用于:屋面板	0.47	简支		1.0	风荷载0.5	
						1.0	风荷载1.0	
			0.53	简支		1.5	风荷载0.5	
						1.45	风荷载1.0	
			—	简支				
9	YX52-600(U600)	 适用于:屋面板	0.5	简支	2.5	1.9	1.6	1.4
				连续	3.0	2.3	2.0	1.8
			0.6	简支	2.7	2.1	1.8	1.6
				连续	3.3	2.5	2.2	1.9
10	YX28-150-750	 适用于:墙板	0.6	悬臂	0.9	0.7	0.6	0.5
				简支	1.9	1.5	1.3	1.2
				连续	2.2	1.8	1.5	1.4
			0.8	悬臂	1.0	0.8	0.7	0.6
				简支	2.1	1.7	1.5	1.3
				连续	2.6	2.0	1.8	1.6
			1.0	悬臂	1.1	0.9	0.7	0.7
				简支	2.4	1.9	1.6	1.5
				连续	2.8	2.2	1.9	1.8

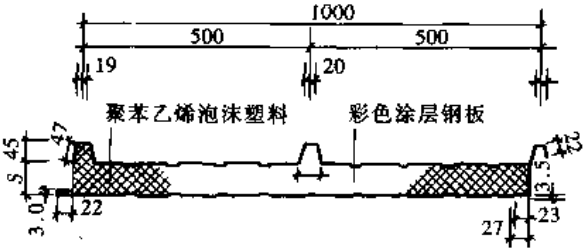
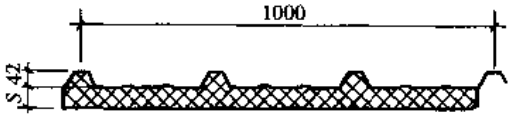
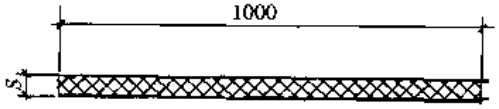
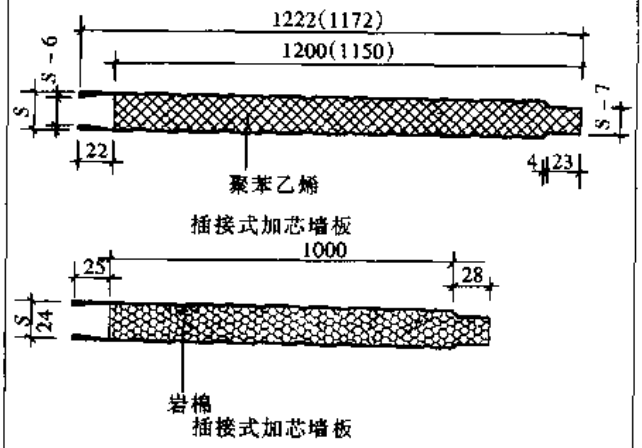
续表

序号	板型	截面形状(mm)	荷载(kN/m²)/檩距(m)				
			钢板厚度(mm)	支撑条件	荷载(kN/m²)		
					0.5	1.0	1.5	2.0
11	YX28-205-820	820, 205, 28 适用于:墙板	0.6	悬臂	1.01	0.91	0.73	0.51
				简支	2.21	1.75	1.56	1.38
				连续	2.67	2.12	1.84	1.66
			0.8	悬臂	1.10	0.92	0.74	0.73
				简支	2.48	1.93	1.66	1.56
				连续	2.94	2.30	2.02	1.84
			1.0	悬臂	1.20	0.92	0.83	0.74
				简支	2.67	2.12	1.84	1.66
				连续	3.13	2.48	2.12	1.93
12	YX51-250-750	50, 250, 51, 135, 750 适用于:墙板	0.6	悬臂	1.1	1.1	1.0	0.9
				简支	3.1	2.5	2.2	1.9
				连续	3.7	2.9	2.6	2.3
			0.8	悬臂	1.6	1.2	1.1	1.0
				简支	3.4	2.7	2.4	2.1
				连续	4.1	3.2	2.8	2.5
			1.0	悬臂	1.7	1.4	1.2	1.1
				简支	3.8	3.0	2.6	2.4
				连续	4.5	3.5	3.1	2.8
13	YX24-210-840	840, 210, 210, 210, 210, 24 适用于:墙板	0.5	简支	0.9	0.7	0.6	0.5
				连续	2.0	1.8	1.6	1.5
			0.6	简支	1.0	0.8	0.7	0.6
				连续	2.2	1.9	1.8	1.7
			1.0	简支	1.5	1.2	1.1	1.0
				连续	2.5	2.3	2.1	2.0
14	YX15-225-900	900, 225, 15 适用于:墙板	0.6	简支	1.3	1.2	1.0	1.0
				连续	1.6	1.5	1.3	1.2
			0.8	简支	1.5	1.4	1.1	1.1
				连续	1.9	1.6	1.4	1.3
			1.0	简支	1.6	1.5	1.3	1.2
				连续	2.0	1.7	1.6	1.4
15	YX15-118-826	826, 17, 118, 14.5, 15 适用于:墙板	0.6	悬臂	0.60	0.55	0.52	0.45
				简支	1.34	1.20	1.03	0.95
				连续	1.61	1.45	1.34	1.15
			0.8	悬臂	0.71	0.60	0.51	0.50
				简支	1.48	1.35	1.12	1.05
				连续	1.88	1.60	1.43	1.25
			1.0	悬臂	0.72	0.65	0.57	0.50
				简支	1.64	1.45	1.34	1.15
				连续	1.97	1.70	1.55	1.35

注：1. 表中屋面板的荷载为标准值，含板自重，其檩距按挠跨比 1/300 确定；若按 1/250 考虑时可将表中数值乘以 1.06，按 1/200 考虑时乘以 1.15。表中墙板檩距按挠跨比 1/200 确定。

2. 表中序号 1～5、10～12 的板型资料由北京市北泡轻钢建材有限公司提供；7、8 的板型资料由徐州安美固建筑空间结构有限公司提供。

常用夹芯板板型及檩距（m）　　表 6-2

序号	板型	截面形状（mm）	板厚 S（mm）	面板厚（mm）	支撑条件	荷载（kN/m²）/檩距（m） 0.5（0.6）	1.0	1.5	2.0
1	JxB45-500-1000	 适用于：屋面板	75	0.6	简支	5.0	3.8	3.1	2.4
			100	0.6	简支连续	5.4	4.0	3.4	2.8
			150	0.6	简支连续	6.5	4.9	4.0	3.3
2	JxB42-333-1000	 适用于：屋面板	50	0.5	简支	(4.7)	(3.6)	(3.0)	
					连续	(5.3)	(4.1)	(3.3)	
			60	0.5	简支	(5.0)	(3.9)	(3.1)	
					连续	(5.6)	(4.3)	(3.5)	
			80	0.5	简支	(5.5)	(4.4)	(3.4)	
					连续	(6.2)	(4.8)	(3.9)	
3	JxB-Qy-1000	 适用于：墙板	50	0.5	简支	3.4	2.9	2.4	
					连续	3.9	3.4	2.7	
			60	0.5	简支	3.8	3.3	2.6	
					连续	4.4	3.7	3.0	
			80	0.5	简支	4.5	3.7	2.9	
					连续	5.2	4.2	3.3	
4	JxB-Q-1000	拼接式加芯墙板	50	0.5	简支	3.4	2.9	2.4	
					连续	3.9	3.4	2.7	
			60	0.5	简支	3.8	3.3	2.6	
					连续	4.4	3.7	3.0	
			80	0.5	简支	4.5	3.7	2.9	
					连续	5.2	4.2	3.3	
			同序号 3						

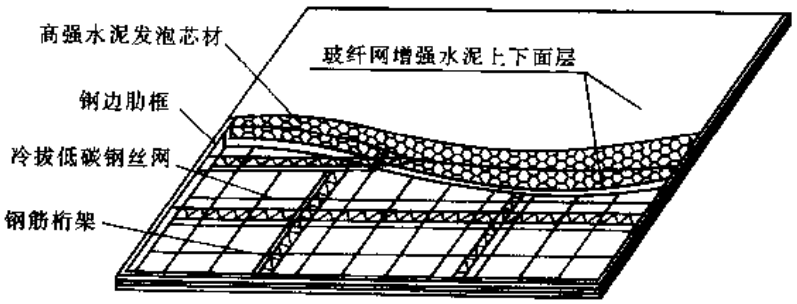
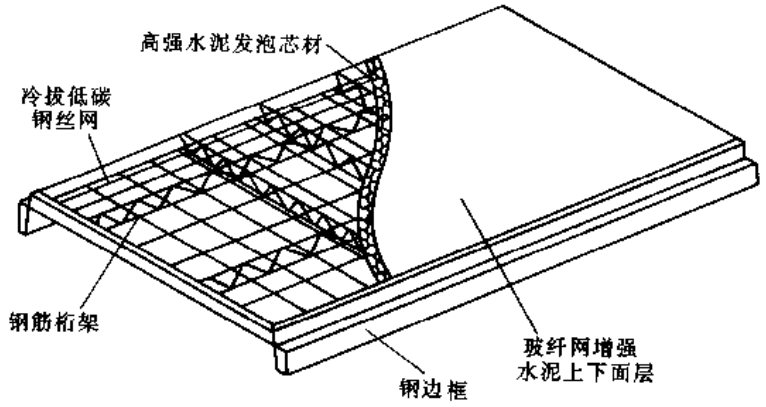
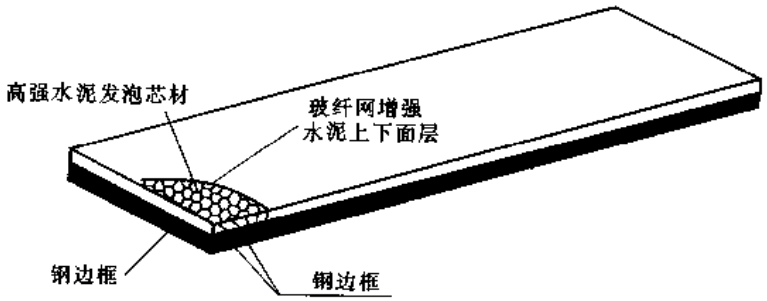
注：1. 表中屋面板的荷载标准值，已含板自重。墙板为风荷载标准值，均按挠跨比 1/200 确定檩距，当挠跨比为 1/250 时，表中檩距应乘以系数 0.9。

2. 序号 1 板型资料由北京市北泡轻钢建材有限公司提供。

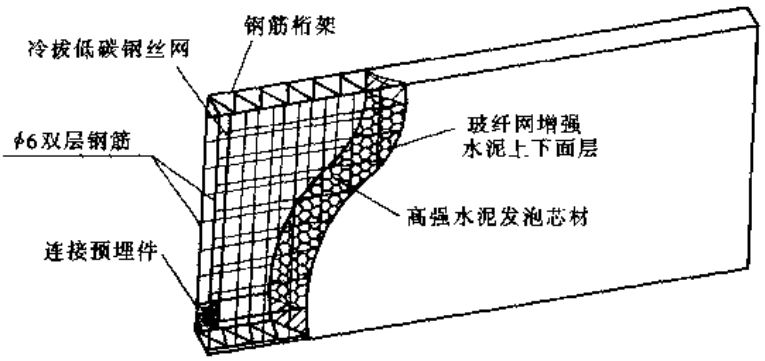
6.3 发泡水泥复合板（太空板）

详见表 6-3。

标准型发泡水泥复合板 表 6-3

序号	板型	示意图 (mm)	边框高 (mm)	面板厚 (mm)	外荷载标准（设计值）(kN/m^2)
1	网架板 WB 3m×3m		100 120 140	80 100 120	1.13 (2.1) 2.14 (2.99) 3.47 (3.96)
2	大型屋面板 DW 1.5m×6m 3m×6m 1.5m×7.5m		200 240 240	100 100 100	1.1 (2.06) 1.3 (1.84) 0.95 (1.91)
3	大型墙板 DQB 1.5m×6m 及 1.5m×7.5m		120 140	140 160	0.67 (1.65) 0.50 (1.29)

续表

序号	板型	示意图（mm）	边框高（mm）	面板厚（mm）	外荷载标准（设计值）（kN/m²）
4	条型板 TB 1.5m×3m		120	120	1.0 (1.40) 1.5 (2.10)

注：1. 墙板的外荷载为风荷载标准值。

2. 条型板为有檩体系，屋面和墙板通用。

3. 当采用表 6-3 以外的尺寸，可按非标准型设计。

6.4　各种屋面设计参数

6.4.1　有檩体系

见表 6-4。

有檩体系屋面的设计参数　　表 6-4

序号	名称	长（mm）	宽（mm）	厚（mm）	弧（肋）高（mm）	弧（肋）数（个）	屋面坡度 i	标志檩距（m）	重量（kN/m）	结构形式
1	石棉水泥大波瓦	2800 1650	994 994	8.0 8.0	50 50	6 6	1/3～1/2.5	1.9 1.4	0.2	三角形屋架、三铰拱屋架及门式刚架
2	石棉水泥中波瓦	2400 1800 1200	745 745 745	6.5 6.0 6.0	33 33 33	7.5 7.5 7.5		1.1 0.8 1.0		
3	石棉水泥小波瓦	1820 1820	720 720	6.0 8.0	14～17	11.5 11.5		0.8		
4	石棉水泥脊瓦	850 780	180×2 230×2	8.0 6.0	—	—		—		
5	加筋石棉水泥中波瓦	1800	745	7～8	33	6		1.5	0.08	
6	木质纤维波形瓦	1700	765	6.0	40	4.5		1.5		

续表

序号	名称	长(mm)	宽(mm)	厚(mm)	弧(肋)高(mm)	弧(肋)数(个)	屋面坡度 i	标志檩距(m)	重量(kN/m)	结构形式
7	粘土瓦(水泥平瓦)	挂瓦条(木望板或檩条)					1/2.5～1/2.0	0.80～1.1	0.55	三角形屋架、三铰拱屋架
8	瓦楞铁	1820					1/6～1/3	0.80～1.1	0.05	同序号1～6
9	压型钢板	按需要	550～930	0.6～1.0	14～130	1～6	1/8～1/20	表6-1	0.07～0.14	网架、梯形屋架及门式刚架
10	钢丝网水泥波形瓦	1700	830	14	80	3	1/3	1.5	0.4～0.5	三角形屋架
11	预应力混凝土槽瓦	3300	980～990	25～30	120～130	1	1/3	3.0	0.85～1.0	三角形屋架
12	GRC条形板	3000	1500	120	—	—	1/8～1/20	3.0	0.5～0.6	网架、梯形屋架及门式刚架
13	发泡水泥复合条形板	3000	1500	120	—	—	1/8～1/20	3.0	0.6	同序号12
14	夹芯板	按需要	1000	50～150	92～195	2、3	1/8～1/20	表6-2	0.12～0.25	同序号12

6.4.2 无檩体系屋面

1. 发泡水泥复合网架板和大型屋面板，板重0.6～0.75kN/m^2；

2. 加气混凝土板，板重0.75～1.0kN/m^2；

3. GRC大型屋面板，不保温，板重0.5～0.6kN/m^2；

4. 各种混凝土屋面板，不保温，板重0.75～1.4kN/m^2；当用卷材防水时其坡度 i 不宜小于2%。按板的尺寸不同宜用于网架、梯形屋架及门式刚架中。

6.5 板的连接

6.5.1 压型钢板的连接

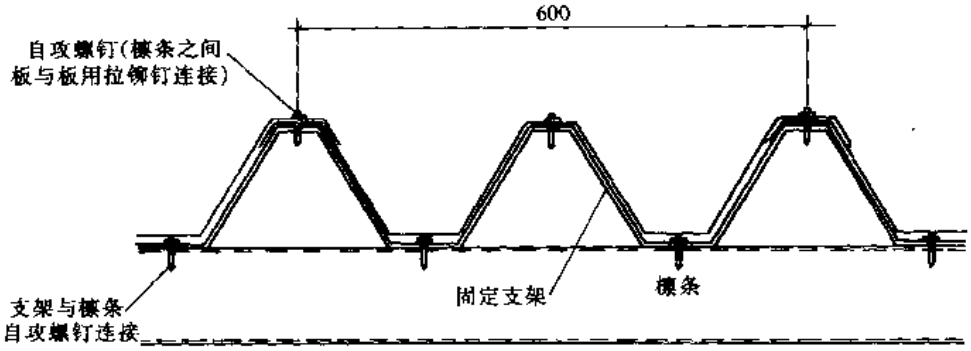
见图6-1，图6-2。

6.5.2 夹芯板的连接

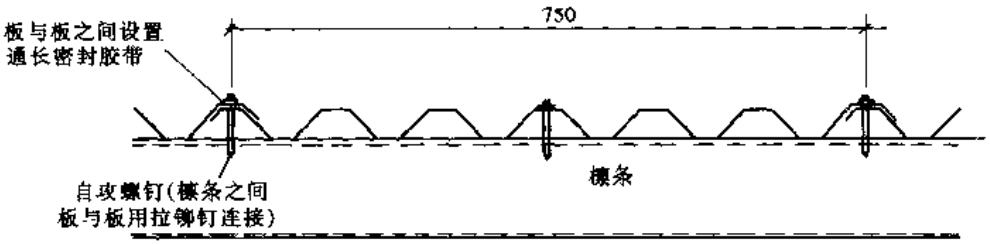
见图6-3。

6.5.3 发泡水泥复合板的连接

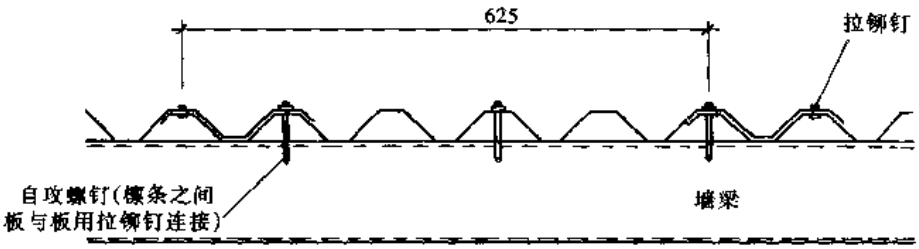
见图6-4、6-5、6-6。



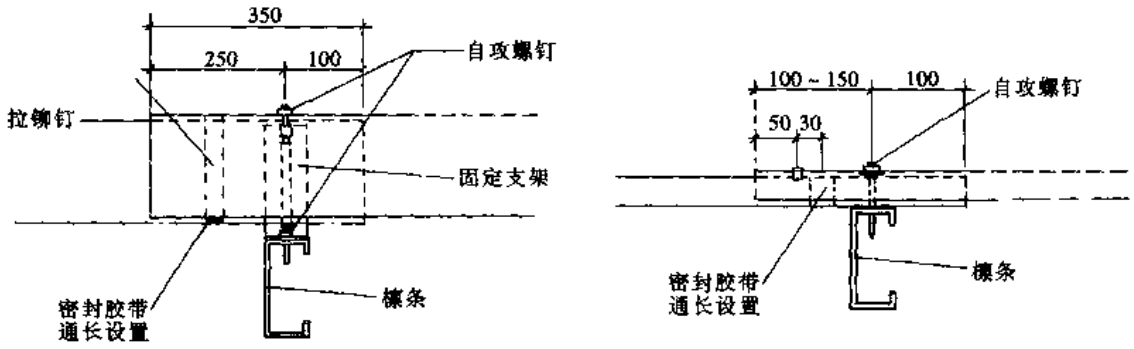
(a)



(b)



(c)



(d)　　(e)

图 6-1　V125、W600 板型的紧固件连接

(a) YX130-300-600 (W600) 型压型钢板屋面横向连接；(b) YX35-125-750 (V125) 型压型钢板屋面横向连接一(宜用于屋面防水要求较低及半开敞式建筑物)；(c) YX35-125-750 (V125) 型压型钢板屋面横向连接二；(d) W600 型彩色钢板屋面纵向搭接；(e) V125 型彩色钢板屋面纵向搭接

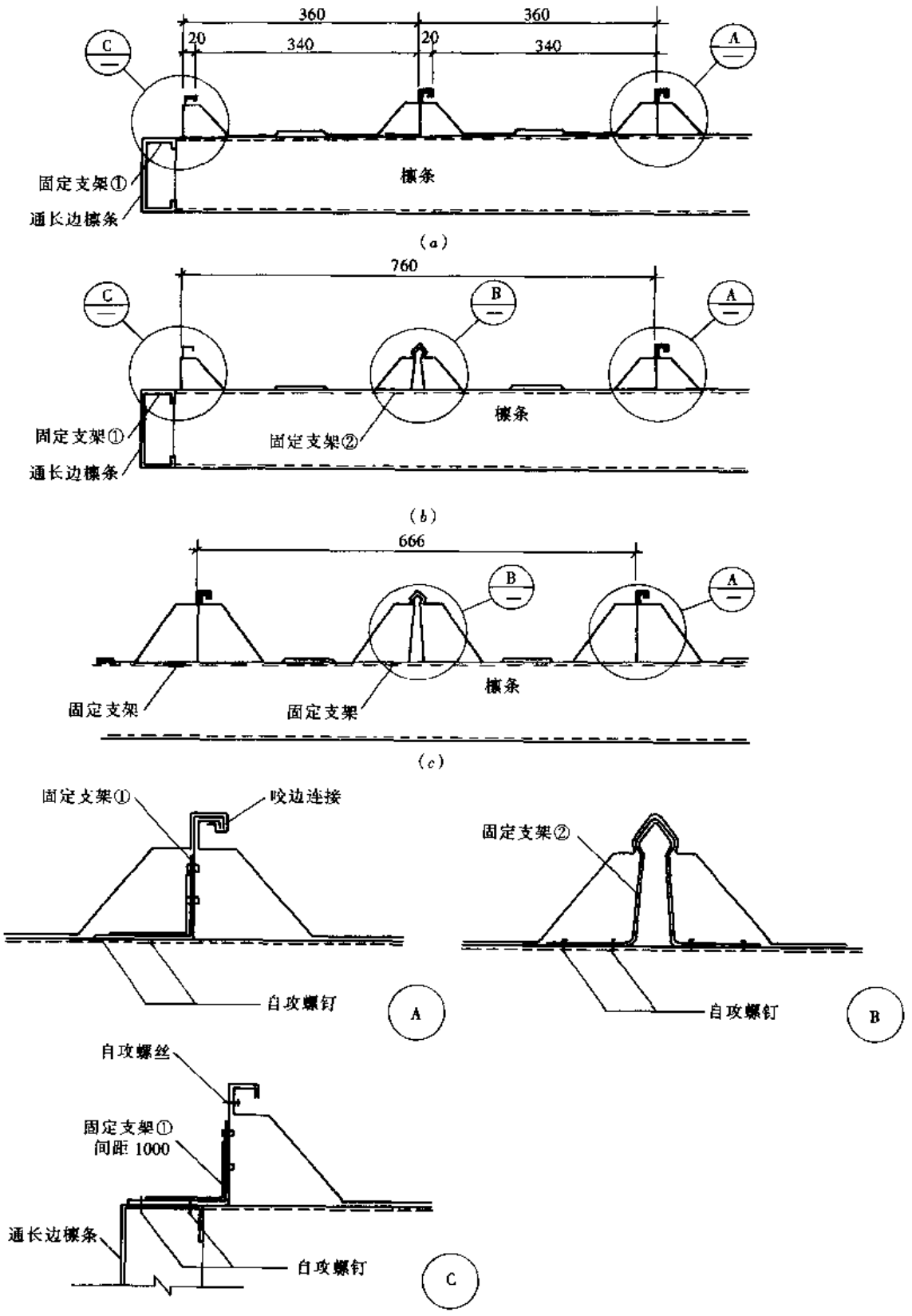


图 6-2 角弛型板的隐藏式咬边连接
(a) YX51-360（角弛Ⅱ）型压型钢板横向连接；(b) YX51-380-760（角弛Ⅲ）型压型钢板横向连接；
(c) YX114-333-666 型压型钢板横向连接

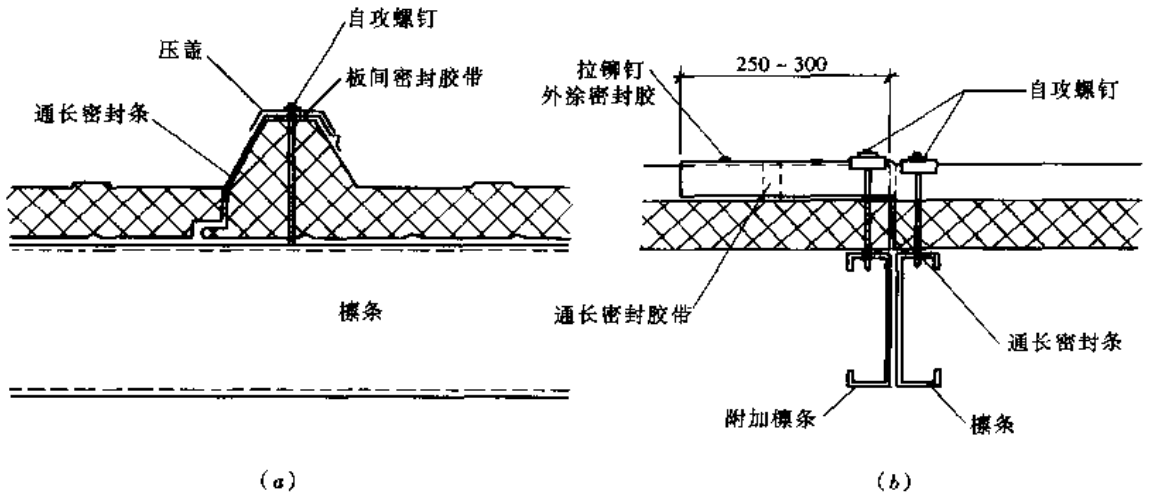


图 6-3　夹心板紧固件连接

(a) 屋面板横向连接；(b) 屋面板纵向连接

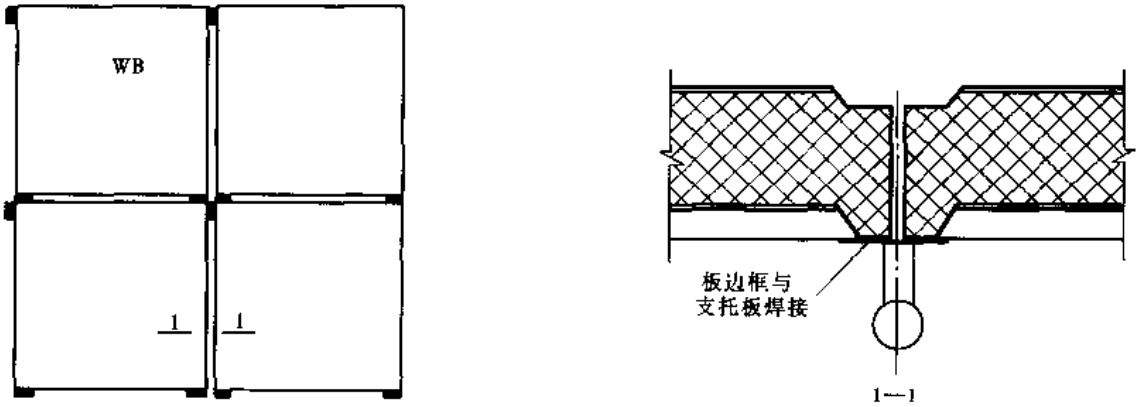


图 6-4　网架板安装示意图

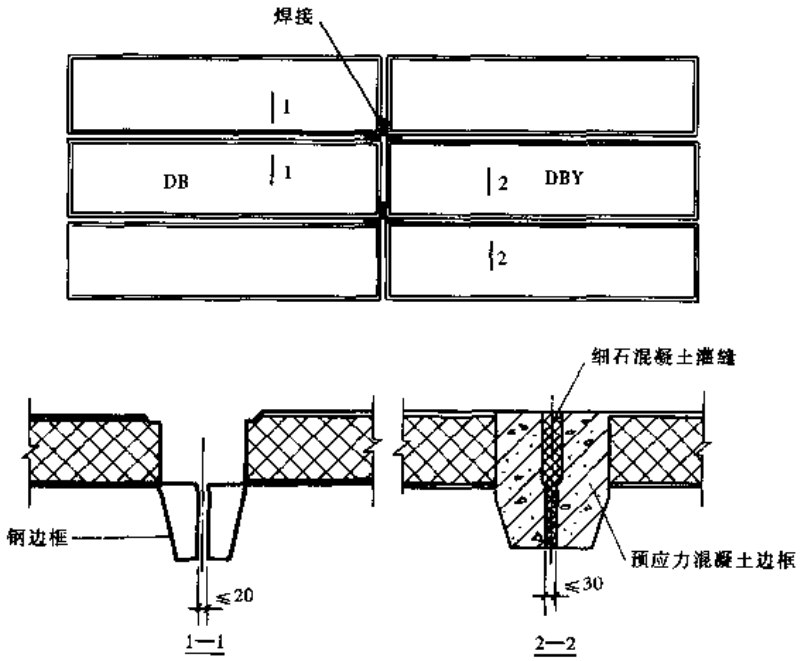


图 6-5　大型屋面板安装示意图

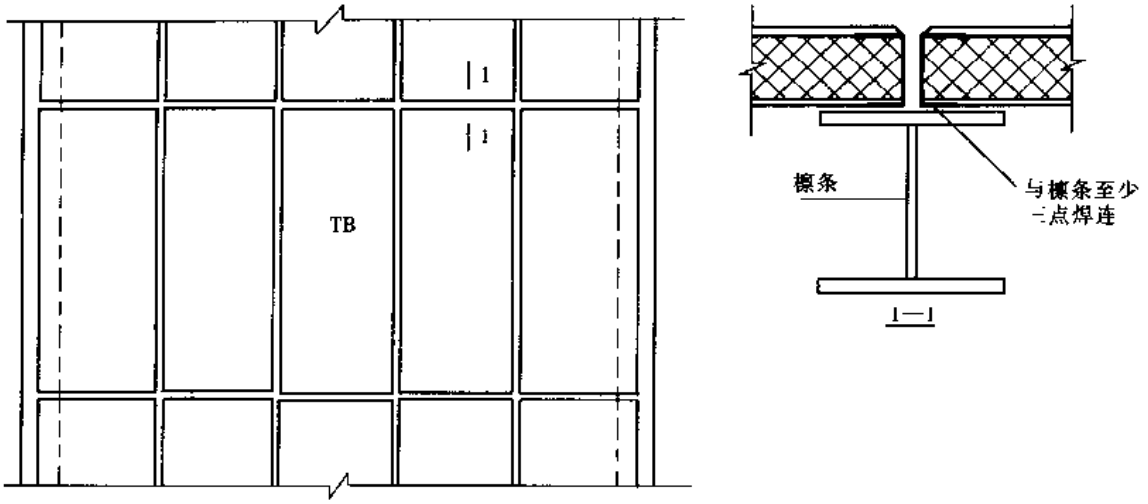


图 6-6 条型板安装示意

6.6 建 筑 构 造

各种屋面的建筑构造见国家建筑标准设计图集：

1. 坡屋面建筑构造图集 00J202-1；

2. 压型钢板、夹芯板屋面及墙体建筑构造 01J925-1；

3. 发泡水泥复合板 02ZG710。

6.7 压型钢板的计算

6.7.1 受压翼缘与腹板的有效宽厚比

压型钢板的板厚度较薄，属于薄壁型钢范畴，故应按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018—2002 进行计算。计算前的关键是如何确定构件受压板件（翼缘与腹板）的有效面积（或有效宽厚比）。同时应满足宽厚比限值的构造要求。

有效宽厚比 b_e/t 可按第 7.1.4 条公式（7-12）～（7-14）计算，宽厚比限值应满足第 2.5.1 条表 2-14 的规定。

以下对压型钢板的翼缘和腹板宽度的取法及其具体计算作一简要介绍（图 6-7）。

1. 两纵边均与腹板相连，或一纵边与腹板相连、另一纵边与符合第 6.7.2 条要求的中间加劲肋相连的受压翼缘，可按加劲板件由第 7.1.4 条公式（7-12）～（7-14）确定其有效宽厚比。

2. 有一纵边与符合第 6.7.2 条要求的边加劲肋相连的受压翼缘，可按部分加劲板件由公式（7-12）～（7-14）确定其有效宽厚比。

3. 压型钢板腹板的有效宽厚比也按上述相同方法的有加劲板件考虑。

6.7.2 压型钢板受压翼缘纵向加劲肋的刚度要求

1. 边加劲肋

$$I_{es} \geqslant 1.83t^4\sqrt{\left(\frac{b}{t}\right)^2 - \frac{27100}{f_y}} \tag{6-1}$$

且　　$I_{es} \geqslant 9t^4$

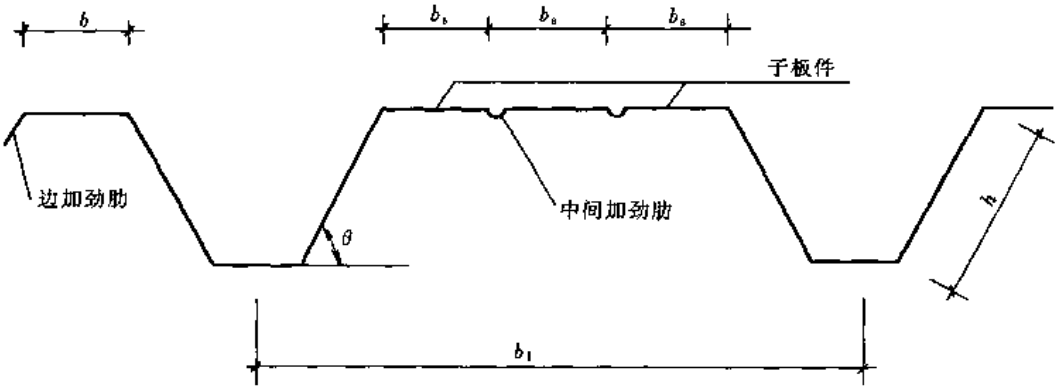


图 6-7　压型钢板截面示意图

2. 中间加劲肋

$$I_{is} \geqslant 3.66t^4\sqrt{\left(\frac{b_s}{t}\right)^2 - \frac{27100}{f_y}} \tag{6-2}$$

且　　$I_{is} \geqslant 18t^4$

式中　I_{es}——边加劲肋截面对平行于被加劲板截面之重心轴的惯性矩；

I_{is}——中间加劲肋截面对平行于被加劲板件截面之重心轴的惯性矩；

b_s——子板件的宽度；

b——边加劲板件的宽度；

t——板件的厚度。

6.7.3　压型钢板的强度可取一个波距或整块压型钢板的有效截面，按受弯构件计算。

6.7.4　压型钢板腹板的剪应力应符合下列公式的要求：

当 $h/t < 100$ 时

$$\tau \leqslant \tau_{cr} = \frac{8500}{(h/t)} \tag{6-3}$$

$$\tau \leqslant f_v \tag{6-4}$$

当 $h/t \geqslant 100$ 时

$$\tau \leqslant \tau_{cr} = \frac{855000}{(h/t)^2} \tag{6-5}$$

式中　τ——腹板上的平均剪应力（N/mm^2）；

τ_{cr}——腹板的剪切屈曲临界剪应力；

h/t——腹板的高厚比。

6.7.5　压型钢板支座处的腹板，应按下式验算其局部受压承载力

$$R \leqslant R_w \tag{6-6}$$

$$R_w = \alpha t^2\sqrt{fE}(0.5 + \sqrt{0.02l_c/t})[2.4 + (\theta/90)^2] \tag{6-7}$$

式中 R——支座反力；

R_w——一块腹板的局部受压承载力设计值；

α——系数，中间支座取 $\alpha=0.12$，端部支座取 $\alpha=0.06$；

t——腹板厚度（mm）；

l_c——支座处的支承长度，$10\text{mm}<l_c<200\text{mm}$，端部支座可取 $l_c=10\text{mm}$；

θ——腹板倾角（$45°\leqslant\theta\leqslant90°$）。

6.7.6 压型钢板同时承受弯矩 M 和支座反力 R 的截面，应满足下列要求：

$$M/M_u\leqslant1.0 \tag{6-8}$$

$$R/R_w\leqslant1.0 \tag{6-9}$$

$$M/M_u+R/R_w\leqslant1.25 \tag{6-10}$$

式中 M_u——截面的弯曲承载力设计值 $M_u=W_ef$。

6.7.7 压型钢板同时承受弯矩 M 和剪力 V 的截面，应满足下列要求：

$$\left(\frac{M}{M_u}\right)^2+\left(\frac{V}{V_u}\right)^2\leqslant1 \tag{6-11}$$

式中 V_u——腹板的抗剪承载力设计值，$V_u=(ht\cdot\sin\theta)\tau_{cr}$，$\tau_{cr}$ 按第 6.7.4 条的规定计算。

6.7.8 在压型钢板的一个波距上作用集中荷载 F 时，可按下式将集中荷载 F 折算成沿板宽方向的均布线荷载 q_{re}，并按 q_{re} 进行单个波距压型钢板有效截面的弯曲计算。

$$q_{re}=\eta\frac{F}{b_1} \tag{6-12}$$

式中 F——集中荷载；

b_1——压型钢板的波距；

η——折算系数，由试验确定；无试验依据时，可取 $\eta=0.5$。

屋面压型钢板的施工或检修集中荷载按 1.0kN 计算，当施工荷载超过 1.0kN 时，则应按实际情况取用。

6.7.9 压型钢板的屋面与墙体挠度与跨度之比不宜超过下列限值：

屋面板	
屋面坡度 < 1/20 时	1/250
屋面坡度 ≥ 1/20 时	1/200
墙板	1/150

必须指出，压型钢板屋面多数为挠度控制，强度并不控制，而挠度只要按表 6-1 选用，均能满足要求，故在设计中构造显得相对重要。

6.8 压型钢板的构造

6.8.1 压型钢板腹板与翼缘水平面之间的夹角 θ 不宜小于 45 度。这在生产板型时应予考虑。

6.8.2 压型钢板宜采用镀锌钢板、镀铝锌钢板或在其基材上涂有彩色有机涂层的钢板辊压成型的三种防锈蚀方法。

6.8.3 屋面、墙面压型钢板的基材厚度宜取 0.4～1.6mm，一般采用 0.6～1.0mm。

压型钢板宜采用长尺板材，以减少板长方向之搭接。

6.8.4　压型钢板长度方向的搭接端必须与支承构件（如檩条、墙梁等）有可靠的连接，搭接部位应设置防水密封胶带，搭接长度不宜小于下列限值：

1. 波高≥70mm 的高波屋面压型钢板：　350mm
2. 波高＜70mm 的中低波屋面压型钢板：屋面坡度≤1/10 时　250mm
   屋面坡度＞1/10 时　200mm
3. 墙面压型钢板：　120mm

6.8.5　屋面压型钢板侧向可采用搭接式、扣合式或咬合式等连接方式。当侧向采用搭接式连接时，一般搭接一波，特殊要求时可搭接两波。搭接处用连接件紧固，连接件应设置在波峰上，连接件应采用带有防水密封胶垫的自攻螺栓。对于高波压型钢板，连接件间距一般为 700～800mm；对于中低波压型钢板，连接件间距一般为 300～400mm。

当侧向采用扣合式或咬合式连接时，应在檩条上设置与压型钢板波形相配套的专门固定支座，固定支座与檩条用自攻螺钉或射钉连接，压型钢板搁置在固定支座上。两片压型钢板的侧边应确保在风吸力等因素作用下的扣合或咬合连接可靠。

6.8.6　墙面压型钢板之间的侧向连接宜采用搭接连接，通常搭接一个波峰，板与板的连接件可设在波峰，亦可设在波谷。连接件宜采用带有防水密封胶垫的自攻螺钉。

6.8.7　铺设高波压型钢板屋面时，应在檩条上设置固定支架，檩条上翼缘宽度应比固定支架宽度大 10mm。固定支架用自攻螺钉或射钉与檩条连接，每波设置一个。低波压型钢板可不设固定支架，宜在波峰处采用带有防水密封胶垫的自攻螺钉或射钉与檩条连接，连接件可每波或隔波设置一个，但每块低波压型钢板不得小于 3 个连接件。

以上 7 条构造措施为防止压型钢板渗漏的基本保证。近年来，压型钢板在沿海大风地区，曾发生过多起锚固破坏和掀屋面的事故，故在下节结合第 6.8.5 条的连接介绍其连接构造与计算方法。

6.9　压型钢板的连接构造与计算

6.9.1　压型钢板与檩条或通过其板端固定支架与檩条用自攻螺钉连接，板与板的搭接处用抽芯铆钉（拉铆钉）连接。抽芯铆钉（拉铆钉）和自攻螺钉的钉头部分应靠在较薄的板件一侧。连接件的中距和端距不得小于连接件直径的 3 倍，边距不得小于连接件直径的 1.5 倍。受力连接中的连接件数不宜少于 2 个。参见图 6-1。

6.9.2　抽芯铆钉的直径和自攻螺钉的直径与孔径。

1. 抽芯铆钉的适用直径为 2.6～6.4mm，在受力蒙皮结构中宜选用直径不小于 4mm 的抽芯铆钉；

2. 自攻螺钉的适用直径为 3.0～8.0mm，在受力蒙皮结构中宜选用直径不小于 5mm 的自攻螺钉；

3. 自攻螺钉连接的板件上的预制孔径 d_0 应符合下式要求：

$$d_0 = 0.7d + 0.2t_t$$

且

$$d_0 \leqslant 0.9d$$

式中　d——自攻螺钉的公称直径（mm）；

t_1——被连接板的总厚度（mm）。

6.9.3 射钉只用于薄板与支承构件（即基材如檩条）的连接，基材厚度为 4～8mm。射钉的间距不得小于射钉直径的 4.5 倍，且其中距不得小于 20mm，到基材的端部和边缘的距离不得小于 15mm，射钉的适用直径为 3.7～6.0mm。

6.9.4 射钉的穿透深度（指射钉尖端到基材表面的深度，如图 6-8 所示）应不小于 10mm。

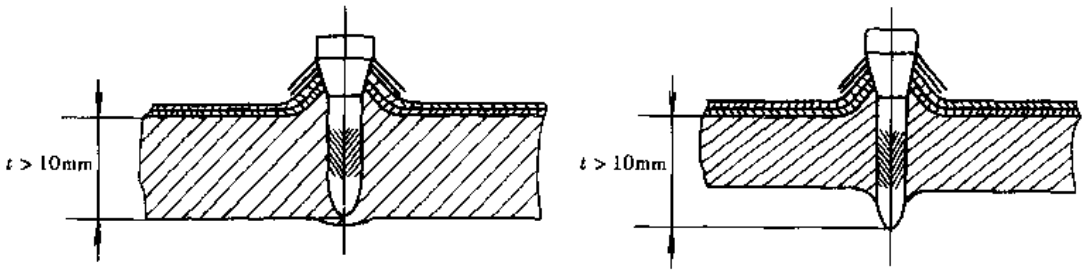


图 6-8 射钉的穿透深度

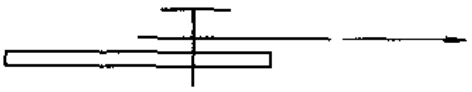
6.9.5 基材的屈服强度 f_y 和最小厚度 t 见表 6-5。

基材的最小厚度 t（$f_y \geq 150N/mm^2$） **表 6-5**

射钉直径 d（mm）	≥3.7	≥4.5	≥5.2
最小厚度 t（mm）	4	6	8

6.9.6 被连钢板的屈服强度 f_y 和最大厚度 t_1 见表 6-6。

被连钢板的最大厚度 t_1（$f_y \leq 360N/mm^2$） **表 6-6**

射钉直径（mm）	≥3.7	≥4.5	≥5.2
单一方向			
单层被固定钢板最大厚度（mm）	1	2	3
多层被固定钢板最大厚度（mm）	1.4	2.5	3.5
相反方向			
所有被固定钢板最大厚度（mm）	2.8	5.0	7

6.9.7 用于压型钢板之间和压型钢板与冷弯型钢构件之间紧密连接的抽芯铆钉（拉铆钉）、自攻螺钉和射钉连接的强度可按下列规定计算：

1. 在压型钢板与冷弯型钢等支承构件之间的连接件杆轴方向受拉的连接中，每个自攻螺钉或射钉所受的拉力应不大于按下列公式计算的抗拉承载力设计值：

（1）当只受静荷载作用时

$$N_t^f = 17tf \tag{6-13}$$

（2）当受含有风荷载的组合荷载作用时

$$N_t^f = 8.5tf \tag{6-14}$$

式中　N_t^f——一个自攻螺钉或射钉的抗拉承载力设计值（N）；

t——紧挨钉头侧的压型钢板厚度（mm），应满足 $0.5\text{mm} \leqslant t \leqslant 1.5\text{mm}$；

f——被连接钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）。

当连接件位于压型钢板波谷的一个四分点时（如图 6-9*b* 所示），其抗拉承载力设计值应乘以折减系数 0.9，当二个四分点均设置连接件时（如图 6-9*c* 所示）则应乘以折减系数 0.7。

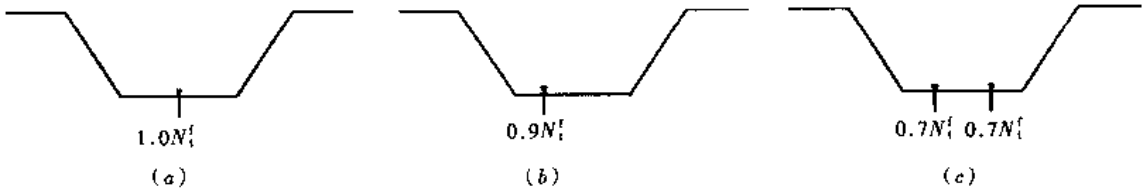


图 6-9　压型钢板连接示意

（3）自攻螺钉在基材中的钻入深度 t_c 应大于 0.9mm，其所受的拉力应不大于按下式计算的抗拉承载力设计值：

$$N_t^f = 0.75t_c df \tag{6-15}$$

式中　d——自攻螺钉的直径（mm）；

t_c——钉杆的圆柱状螺纹部分钻入基材中的深度（mm）；

f——基材的抗拉强度设计值（N/mm^2）。

（4）在抗拉连接中，自攻螺钉和射钉的钉头或垫圈直径不得小于 14mm；且应通过试验保证连接件由基材中的拔出强度不小于连接件的抗拉承载力设计值。

2. 当连接件受剪时，每个连接件所承受的剪力应不大于按下列公式计算的抗剪承载力设计值：

抽芯铆钉和自攻螺钉：

当 $\frac{t_1}{t} = 1$ 时　　$N_v^f = 3.7\sqrt{t^3 df}$　　(6-16)

且　　$N_v^f \leqslant 2.4tdf$　　(6-17)

当 $\frac{t_1}{t} \geqslant 2.5$ 时，　　$N_v^f = 2.4tdf$　　(6-18)

当 $\frac{t_1}{t}$ 介于 1 和 2.5 之间时，N_v^f 可由公式 6-16 和 6-18 插值求得。

式中　N_v^f——一个连接件的抗剪承载力设计值（N）；

d——铆钉或螺钉直径（mm）；

t——较薄板（钉头接触侧的钢板）的厚度（mm）；

t_1——较厚板（在现场形成钉头一侧的板或钉尖侧的板）的厚度（mm）；

f——被连接钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）。

射钉：

$$N_v^f = 3.7tdf \tag{6-19}$$

式中　t——被固定的单层钢板的厚度（mm）；

d——射钉直径（mm）；

f——被固定钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）。

当抽芯铆钉或自攻螺钉用于压型钢板端部与支承构件（如檩条）的连接时，其抗剪承载力设计值应乘以折减系数0.8。

3. 同时承受剪力和拉力作用的自攻螺钉和射钉连接，应符合下式要求：

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^f}\right)^2+\left(\frac{N_t}{N_t^f}\right)^2}\leqslant 1 \tag{6-20}$$

式中 N_v、N_t—— 一个连接件所承受的剪力和拉力；

N_v^f、N_t^f——一个连接件的抗剪和抗拉承载力设计值。

屋面在风吸力下的角部板掀离举例：

如常用的自攻螺钉，按公式（6-14）

$$N_t^f = 8.5tf = 8.5\times 0.6\times 205 = 1045N = 1.045kN$$

按公式（6-15）

$$N_t^f = 0.75t_c df = 1014N = 1.014kN < 1.045kN$$

（取 $t_c = 1.2mm$　$d = 5.5mm$）

按 CECS102:2002 技术规程

$$w_k = \mu_s\mu_z w_0$$

按 GB50009—2001 规范房屋高度 10m，地面粗糙度 A，沿海地区 $\mu_z = 1.38$

封闭房屋角部，按表 A.0.2-3，$\mu_s = -2.9$

基本风压 $w_0 = 0.7kN/m^2$，换算为以上技术规程的风压为 $1.05w_0 = 0.735kN/m^2$。

V125 板，板宽 750，两个钉。

檩距 1.5m，受风面积 $A = 0.75\times 1.5 = 1.125$，荷载系数 $\gamma_w = 1.4$

$$N_t = \gamma_w\mu_s\mu_z(1.05w_0)\times 0.75\times 1.5$$
$$= 1.4\times 2.9\times 1.38\times 0.735\times 0.75\times 1.5 = 4.63kN$$
$$> 2N_t^f = 2\times 1.014 = 2.03kN$$

如按 N_t^f 反求 w_k 和 w_0

$$w_k = \frac{2N_t^f}{1.4\times 0.75\times 1.5} = \frac{2\times 1.014}{1.4\times 0.75\times 1.5} = 1.29kN/m^2$$

$$w_0 = \frac{1.29}{1.05\times 2.9\times 1.38} = 0.31kN/m^2 < 0.7kN/m^2$$

表明尽管 w_k 已不小，由于高度修正系数 μ_z 和风荷载体形系数 μ_s 两者的乘积 $\mu_z\mu_s = 4.0$ 过大，难以避免不掀起，如改在城市郊区地面粗糙度 B 则 $w_0 = \frac{1.29}{1.05\times 2.9} = 0.43kN/m^2$。

若再将自攻钉加密为3个，则 $w_0 = 1.5\times 0.43 = 0.645kN/m^2$

则接近于 $w_0 = 0.7kN/m^2$。

综合以上计算，在大风区为避免屋面掀起，必须按以上公式验算后再选用。

7 屋 盖 结 构

7.1 檩 条

7.1.1 檩条形式及特点

檩条一般用于轻型屋面，其形式有实腹式和桁架式两种。檩条一般设计成单跨简支构件，实腹式檩条也可设计成连续构件。

1. 实腹式檩条

实腹式檩条包括普通型钢和冷弯薄壁型钢两种，其截面形式如图 7-1 所示。

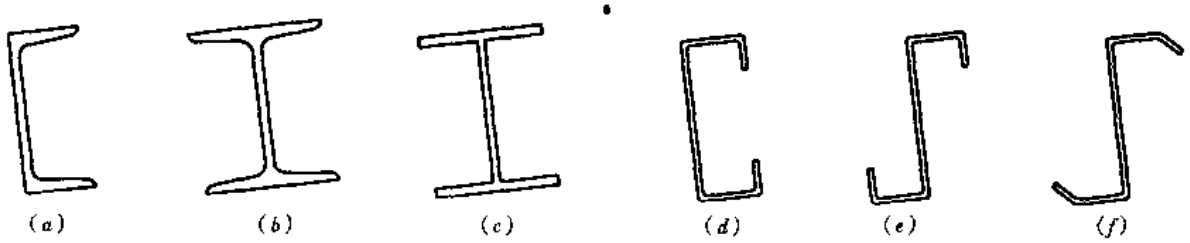


图 7-1 实腹式檩条

(1) 热轧工字钢、槽钢檩条

热轧工字钢、槽钢檩条分普通和轻型两种（图 7-1*a*、*b*）。普通檩条因型材的厚度较厚，强度不能充分发挥，用钢量较大。轻型檩条虽比普通型钢檩条有所改进，但仍不够理想。

(2) 高频焊接轻型 H 型钢檩条

高频焊接轻型 H 型钢（以下简称“轻型 H 型钢”）系引进国外先进技术生产的一种轻型型钢（图 7-1*c*），具有腹板薄、抗弯刚度好、两主轴方向的惯性矩比较接近及翼缘板平直易于连接等优点，目前常用于檩距≥1.5m 或跨度 > 6m，荷载较大的屋面。

(3) 冷弯薄壁卷边槽钢檩条

冷弯薄壁卷边槽钢（C 形）檩条（图 7-1*d*）的截面互换性大，应用普遍，用钢量省，制造和安装方便。目前常用于檩条跨度≤6m，荷载较小的平坡屋面中。

(4) 冷弯薄壁卷边 Z 形钢檩条

冷弯薄壁卷边 Z 形钢檩条有直卷边 Z 形钢（图 7-1*e*）和斜卷边 Z 形钢（图 7-1*f*）。它的主平面 *x* 轴的刚度大，用作檩条时挠度小，用钢量省，制造和安装方便。斜卷边 Z 形钢存放时还可叠层堆放，占地少。当屋面坡度较大时常采用这种檩条。

2. 空腹式檩条

空腹式檩条由角钢的上、下弦和缀板焊接组成，见图 7-2，其主要特点是用钢量较少，能合理利用小角钢和薄钢板，因缀板间距较密，拼装和焊接工作量较大。

3. 桁架式檩条

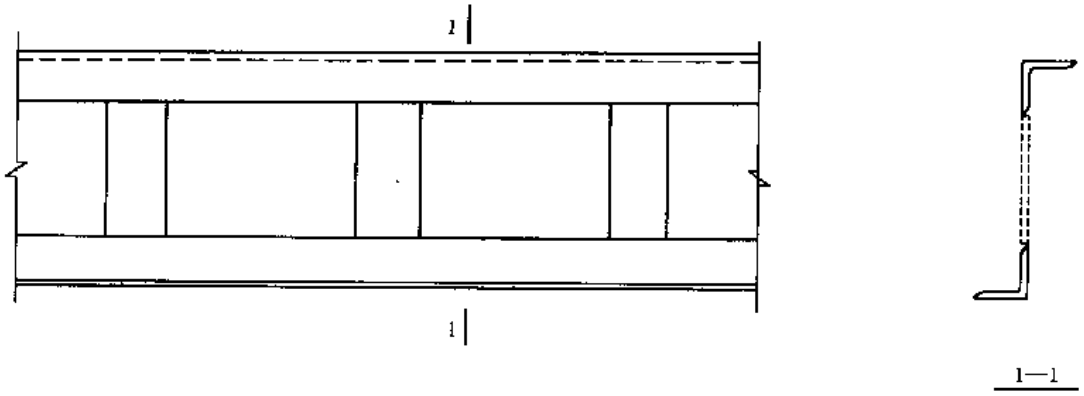


图 7-2 空腹式檩条

当跨度及荷载较大采用实腹式檩条不经济时，可采用桁架式檩条。桁架式檩条的跨度通常为 6～12m，一般采用平面桁架式和空间桁架式。

(1) 平面桁架式檩条

平面桁架式檩条可分为两类：一类由角钢和圆钢制成；另一类由冷弯薄壁型钢制成。

1) 角钢、圆钢平面桁架式檩条 (图 7-3)

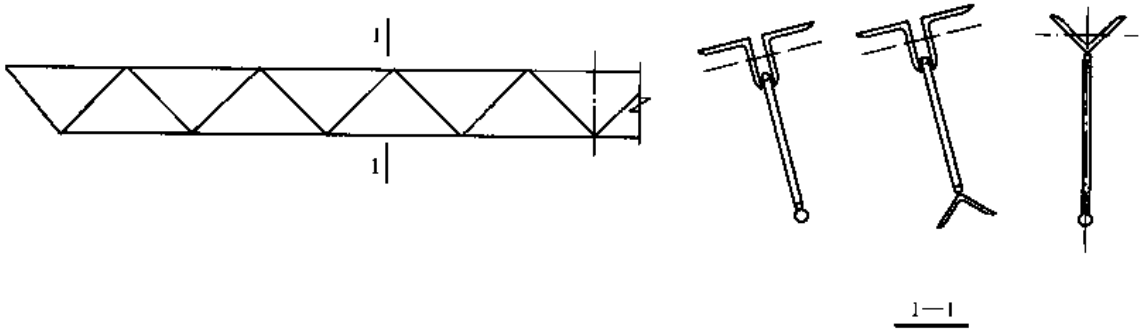


图 7-3 角钢、圆钢平面桁架式檩条

这种檩条构造简单，取材方便，受力明确，但侧向刚度较差，需要与屋面材料、支撑等组成稳定的空间结构。适用于屋面荷载或檩距相对较小的屋面。

2) 冷弯薄壁型钢平面桁架式檩条

冷弯薄壁型钢平面桁架式檩条分为两类。

A. 檩条的全部杆件为冷弯薄壁型钢，如图 7-4。它适用于大檩距的屋面，用钢量省，受力明确，平面内外的刚度均较大。

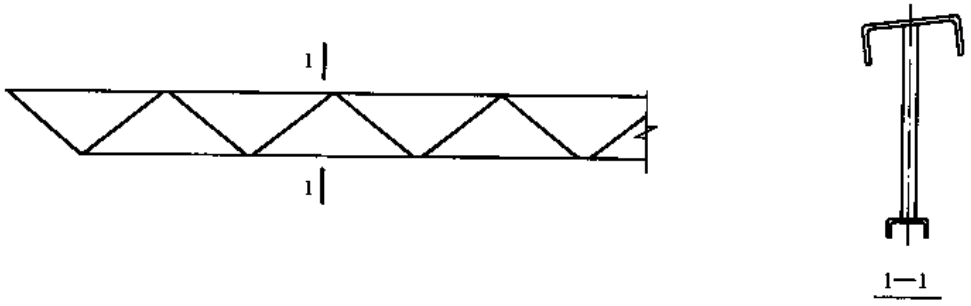


图 7-4 冷弯薄壁型钢平面桁架式檩条 (一)

B. 檩条的主要部分上弦杆和端竖压杆采用冷弯薄壁型钢，其余杆件采用圆钢，如图7-5。为增强檩条的稳定性，其端部受压腹杆最好采用方管。这种檩条多用于1.5m檩距的屋面。这种檩条与上一种平面桁架式檩条相比，受力性能基本相同，但取材和制造更为方便。

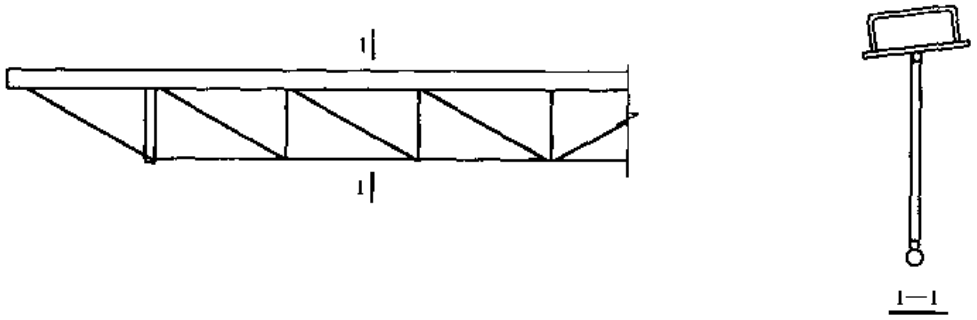


图7-5　冷弯薄壁型钢平面桁架式檩条（二）

（2）空间桁架式檩条

檩条的横截面呈三角形，由①、②、③三个平面桁架组成一个完整的空间桁架体系，故称空间桁架式，见图7-6。这种檩条的特点是结构合理，受力明确，整体刚度大，不需设置拉条，安装方便；但制造较费工，用钢量较大。它适用于跨度、荷载和檩距均较大的情况。

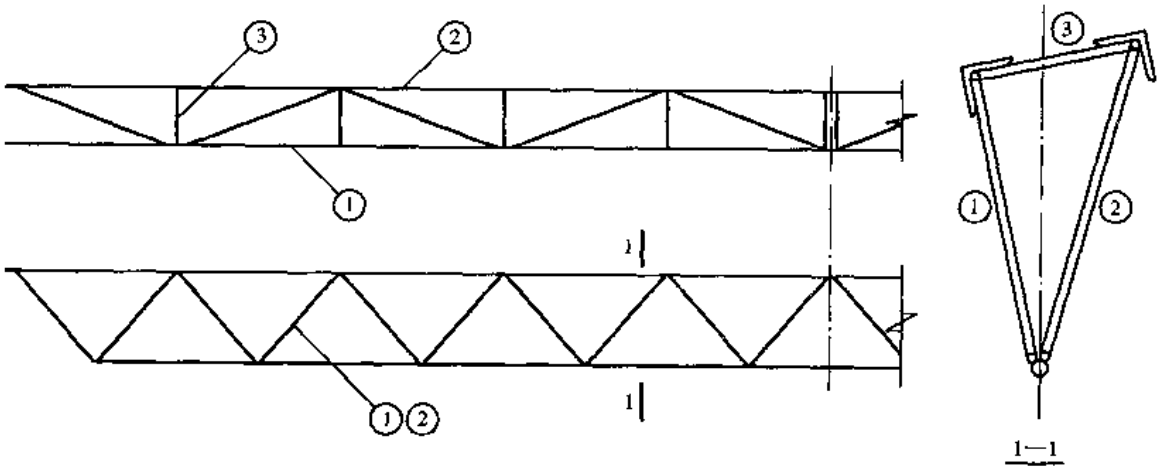


图7-6　空间桁架式檩条

7.1.2　檩条截面尺寸

1. 截面高度 h

实腹式檩条的截面高度 h，一般为跨度的1/35～1/50；桁架式檩条的截面高度 h，一般为跨度的1/12～1/20。

2. 截面宽度 b

实腹式檩条的截面宽度 b，由截面高度 h 所选用的型钢规格确定；空间桁架式檩条上弦的总宽度 b，取截面总高度的1/1.5～1/2.0。

3. 桁架式檩条的弦杆节间长度和腹杆

桁架式檩条的上弦杆节间长度 a（见图7-7），可根据上弦的弯矩值由计算确定。一般可取上、下弦杆节间长度为400～800mm。

腹杆根据制造条件和受力大小，采用连续弯折的整根蛇形圆钢或分段弯折的V形、W形圆钢。斜腹杆与弦杆的夹角 α 为40°~60°。当荷载较大时，腹杆可采用角钢。

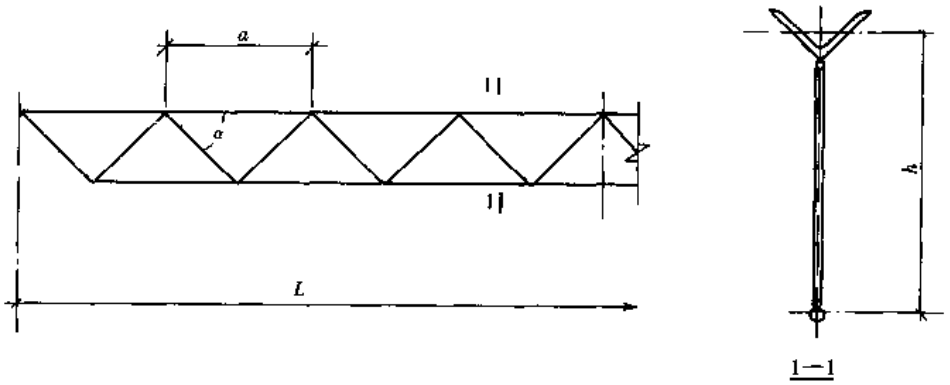


图7-7 桁架式檩条基本参数

7.1.3 檩条荷载

1. 永久荷载（恒荷载）

屋面材料重量（包括防水层、保温或隔热层等）、支撑及檩条结构自重。

2. 可变荷载（活荷载）

屋面均布活荷载、雪荷载、积灰荷载和风荷载。屋面均布活荷载标准值（按投影面积计算）：压型钢板等轻型屋面按2.2.1节受荷水平投影面积取用，对于檩条一般取0.5kN/m^2，发泡水泥复合板等屋面为0.5kN/m^2；雪荷载和积灰荷载按《建筑结构荷载规范》GB50009—2001或当地资料取用。

对于檩距小于1m的檩条，尚应验算1.0kN（标准值）施工或检修集中荷载作用于跨中时构件的强度。对于实腹式檩条，可将检修集中荷载按 $2\times1.0/al$（kN/m^2）换算为等效均布荷载，a 为檩条水平投影间距（m），l 为檩条跨度（m）。

3. 荷载组合

（1）均布活荷载不与雪荷载同时考虑，设计时取两者中的较大值；

（2）积灰荷载应与均布活荷载或雪荷载中的较大值同时考虑；

（3）雪荷载和积灰荷载应按《建筑结构荷载规范》考虑不均匀分布的增大系数；

（4）施工或检修集中荷载不与均布活荷载或雪荷载同时考虑；

（5）对于平坡屋面（坡度为1/8~1/20），可不考虑风正压力；当风荷载较大时，应验算在风吸力作用下，永久荷载与风荷载组合下截面应力反号的情况，此时永久荷载的分项系数取1.0。

7.1.4 檩条计算

檩条形式较多，本书重点介绍目前常用的实腹式檩条的内力分析、强度、稳定性及刚度计算。空腹式及桁架式檩条的设计计算可参考《轻型钢结构设计手册》[10]。

1. 内力分析

实腹式檩条应按在两个主轴平面内受弯的构件（双向弯曲梁）进行计算，即将均布荷载 p 分解为两个荷载分量 p_x 和 p_y 分别计算。

（1）垂直于主轴 x 和 y 的分荷载（见图7-8）按下列公式计算：

$$p_y = p\cos\alpha_0 \tag{7-1}$$

$$p_x = p\sin\alpha_0 \tag{7-2}$$

式中　p——檩条竖向荷载设计值；

α_0——p 与主轴 y 的夹角：对槽形和工字型截面 $\alpha_0 = \alpha$，α 为屋面坡角；对 Z 形截面 $\alpha_0 = |\theta - \alpha|$，$\theta$ 为主轴 x 与平行于屋面轴 x_1 的夹角。

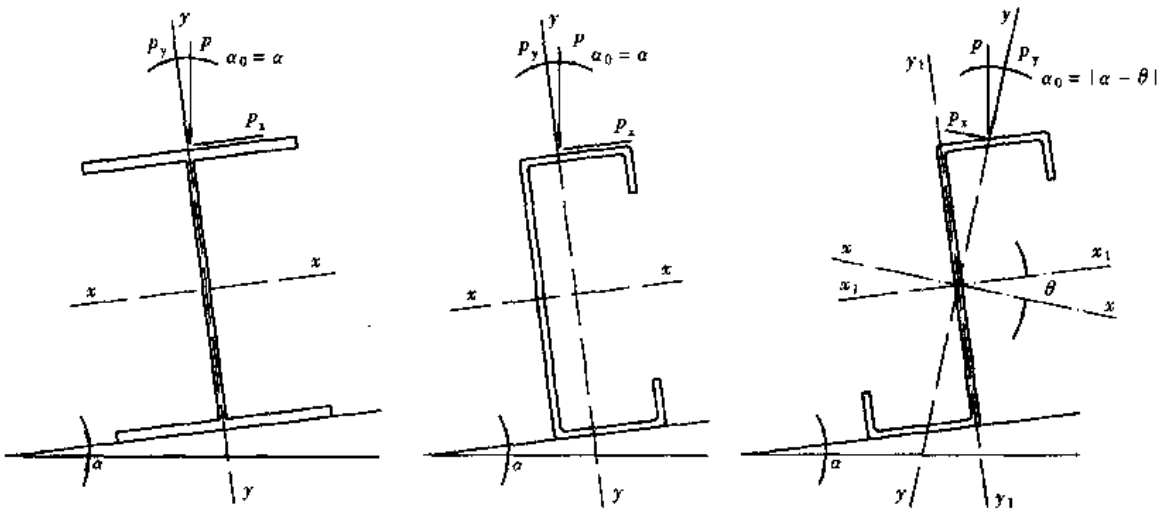


图 7-8　实腹式檩条截面主轴和荷载图

(2) 檩条的弯矩可按下列规定计算：

1) 在刚度最大主平面（对 x 轴）由 p_y 引起的弯矩。

单跨简支构件：跨中最大弯矩 $M_x = p_y l^2/8$，l 为檩条的跨度。

多跨连续构件：不考虑活荷载的不利组合，跨中和支座弯矩均近似取 $M_x = p_y l^2/10$。

2) 在刚度最小主平面（对 y 轴）由 p_x 引起的弯矩，按简支梁或连续梁（设有拉条时，视拉条为檩条的侧向支承点）按下列规定计算。

檩间无拉条时，跨中弯矩 $M_y = p_x l^2/8$

一根拉条位于 $l/2$ 时，

跨中负弯矩　　$M_y = -p_x l^2/32$　　(7-3)

两根拉条位于 $l/3$ 时，

$l/3$ 处负弯矩　　$M_y = -p_x l^2/90$　　(7-4)

跨中正弯矩　　$M_y = p_x l^2/360$　　(7-5)

2. 强度计算

当屋面能阻止檩条侧向失稳和扭转时，可不计算檩条的整体稳定性，仅按下式计算其强度：

冷弯薄壁型钢

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{enx}} + \frac{M_y}{W_{eny}} \leqslant f \tag{7-6}$$

热轧型钢

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leqslant f \tag{3-2}$$

式中 M_x、M_y——刚度最大主平面（由 p_y 引起）和刚度最小主平面（由 p_x 引起）的弯矩：当无拉条或设一根拉条时，采用檩条跨中的弯矩；当设两根拉条时：若 $p_x > 3.5p_y$，采用檩条跨中弯矩；若 $p_x < 3.5p_y$，采用 1/3 跨处的弯矩；

W_{enx}、W_{eny}——对主轴 x、y 的有效净截面模量；

W_{nx}、W_{ny}——主轴 x、y 的净截面模量；

γ_x、γ_y——截面塑性发展系数，按表 3-1 的规定采用；

f——钢材的强度设计值。

3. 稳定计算

（1）当屋面不能阻止檩条侧向失稳和扭转时，可按下式计算檩条的稳定性：冷弯薄壁型钢

$$\sigma = \frac{M_x}{\varphi_{bx} W_{ex}} + \frac{M_y}{W_{ey}} \leqslant f \tag{7-7}$$

热轧型钢

$$\sigma = \frac{M_x}{\varphi_b W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leqslant f \tag{3-7}$$

式中 W_{ex}、W_{ey}——对主轴 x、y 的有效截面模量；

W_x、W_y——对主轴 x、y 的毛截面模量；

φ_b——受弯构件绕强轴的整体稳定系数，按表 3-4 或表 3-9 所列公式计算；

φ_{bx}——受弯构件绕强轴的整体稳定系数，按公式（7-8～7-10）计算。

以上公式中，M_x 和 M_y，当所验算点为压应力时取负号，为拉应力时取正号。

（2）当檩条在永久荷载和风吸力组合下，下翼缘受压时，

1）可偏安全地按公式（7-7）或公式（3-7）计算檩条下翼缘受压、上翼缘受拉时的稳定；此时檩条可按跨中无侧向支承点考虑，即取 $l_y = l_0$（檩条下翼缘附近未设拉条时）。

2）当屋面能阻止檩条上翼缘侧向位移和扭转时，也可按《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》（CECS102：2002）附录 E 列出的考虑屋面对受拉上翼缘的约束对受压下翼缘的稳定计算。

3）当风吸力较大时，为提高受压下翼缘的稳定，允许在檩条下翼缘附近增设拉条，如图 7-18（a）虚线所示，此时 l_y 应取其下翼缘的拉条间距。

4）若仅为提高檩条下翼缘受压时的稳定，将檩条上翼缘拉条下移至下翼缘附近时，还需重新验算檩条在永久荷载与可变荷载组合下，因受压上翼缘无拉条而使其平面外弯矩 M_y 增大对强度的不利影响，并采取临时措施保证檩条在安装时的稳定。

综合以上，本手册建议按 1）设计。

（3）单轴或双轴对称截面的简支梁，当绕对称轴（x 轴）弯曲时，其整体稳定系数 φ_{bx} 应按下式计算：

$$\varphi_{bx} = \frac{4320Ah}{\lambda_y^2 W_x} \xi_1 \left(\sqrt{\eta^2 + \zeta} + \eta \right) \cdot \left(\frac{235}{f_y} \right) \tag{7-8}$$

$$\eta = 2\xi_2 e_a / h \tag{7-9}$$

$$\zeta = \frac{4I_\omega}{h^2 I_y} + \frac{0.156 I_t}{I_y}\left(\frac{l_0}{h}\right)^2 \tag{7-10}$$

式中　λ_y——梁在弯矩作用平面外的长细比；

A——毛截面面积；

h——截面高度；

l_0——梁的侧向计算长度，$l_0 = \mu_b l$；

μ_b——梁的侧向长度计算系数，按表7-1采用；

l——梁的跨度；

ξ_1、ξ_2——系数，按表7-1采用；

e_a——横向荷载作用点到截面弯心的距离，对于偏心压杆或当横向荷载作用在弯心时 $e_a = 0$；当荷载不作用在弯心且荷载方向指向弯心时 e_a 为负，面高开弯心时 e_a 为正；

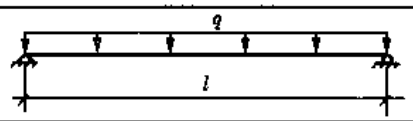
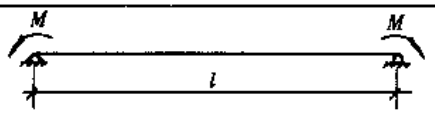
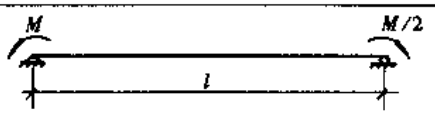
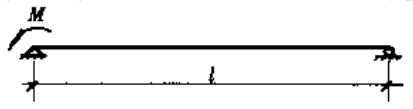
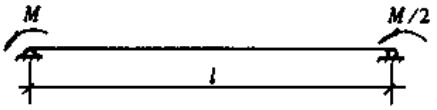
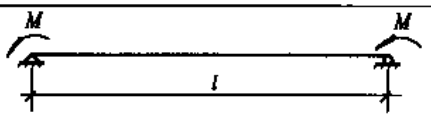
W_x——对 x 轴的受压边缘毛截面截面模量；

I_ω——毛截面扇性惯性矩；

I_y——对 y 轴的毛截面惯性矩；

I_t——扭转惯性矩；

两端及跨间侧向均为简支的受弯构件的 ξ_1、ξ_2 和 μ_b 值　　**表7-1**

序号	弯矩作用平面内的荷载及支承情况	跨间无侧向支承		跨中设一道侧向支承		跨间有不少于两个等距离布置的侧向支承	
		$\mu_b = 1.00$		$\mu_b = 0.50$		$\mu_b = 0.33$	
		ξ_1	ξ_2	ξ_1	ξ_2	ξ_1	ξ_2
1		1.13	0.46	1.35	0.14	1.37	0.06
2		1.35	0.55	1.83	0	1.68	0.08
3		1.00	0	1.00	0	1.00	0
4		1.32	0	1.31	0	1.31	0
5		1.83	0	1.77	0	1.75	0
6		2.39	0	2.13	0	2.03	0
7		2.24	0	1.89	0	1.77	0

如按公式（7-8）计算的 φ_{bx}值大于0.7时，则应以 φ'_{bx} 代替 φ_{bx}，φ'_{bx} 按下式计算：

$$\varphi'_{bx} = 1.091 - \frac{0.274}{\varphi_{bx}} \tag{7-11}$$

（4）在公式(7-6)和公式(7-7)中，对薄壁型钢檩条的有效截面模量按以下规定确定。

1）加劲板件、部分加劲板件和非加劲板件的有效宽厚比应按下列公式计算：

当 $\frac{b}{t} \leqslant 18\alpha\rho$ 时，$\frac{b_e}{t} = \frac{b_c}{t}$ (7-12)

当 $18\alpha\rho < \frac{b}{t} < 38\alpha\rho$ 时，$\frac{b_e}{t} = \left(\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{b/t}} - 0.1\right)\frac{b_c}{t}$ (7-13)

当 $\frac{b}{t} \geqslant 38\alpha\rho$ 时，$\frac{b_e}{t} = \frac{25\alpha\rho}{b/t} \cdot \frac{b_c}{t}$ (7-14)

式中 b——板件宽度；

t——板件厚度；

b_e——板件有效宽度；

α——计算系数，$\alpha = 1.15 - 0.15\psi$，当 $\psi < 0$ 时，取 $\alpha = 1.15$；

b_c——板件受压区宽度，当 $\psi \geqslant 0$ 时，$b_c = b$；当 $\psi < 0$ 时，$b_c = b/(1-\psi)$；

ψ——压应力分布不均匀系数，$\psi = \sigma_{min}/\sigma_{max}$；

σ_{max}——受压板件边缘的最大压应力（N/mm^2），取正值；

σ_{min}——受压板件另一边缘的应力（N/mm^2），以压应力为正，拉应力为负；

ρ——计算系数，$\rho = \sqrt{205k_1k/\sigma_1}$

k——板件受压稳定系数；

k_1——板组约束系数，若不计相邻板件的约束作用，可取 $k_1 = 1.0$。

ρ 式中 σ_1 按以下规定确定。

A. 在轴心受压构件中应根据由构件最大长细比所确定的稳定系数与钢材强度设计值的乘积（φf）作为 σ_1。

B. 对于压弯构件，截面上各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 应由构件毛截面按强度计算，不考虑双力矩的影响。最大压应力板件的 σ_1 取钢材的强度设计值 f，其余板件的最大压应力按 ψ 推算。

C. 对于受弯及拉弯构件，截面上各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 及最大压应力应由构件毛截面按强度计算，不考虑双力矩的影响。

2）受压板件的稳定系数 k 可按下列公式计算：

A. 加劲板件

当 $1 \geqslant \psi > 0$ 时，$k = 7.8 - 8.15\psi + 4.35\psi^2$ (7-15)

当 $0 \geqslant \psi \geqslant -1$ 时，$k = 7.8 - 6.29\psi + 9.78\psi^2$ (7-16)

B. 部分加劲板件

（A）最大压应力作用于支承边（图7.1-9*a*）

当 $\psi \geqslant -1$ 时，$k = 5.89 - 11.59\psi + 6.68\psi^2$ (7-17)

（B）最大压应力作用于部分加劲边（图7-9*b*）

当 $\psi \geqslant -1$ 时，$k = 1.15 - 0.22\psi + 0.045\psi^2$ (7-18)

C. 非加劲板件

（A）最大压应力作用于支承边（图 7-9c）

当 $1 \geqslant \psi > 0$ 时，　$k = 1.70 - 3.025\psi + 1.75\psi^2$　(7-19)

当 $0 \geqslant \psi > -0.4$ 时，　$k = 1.70 - 1.75\psi + 55\psi^2$　(7-20)

当 $-0.4 \geqslant \psi \geqslant -1$ 时，　$k = 6.07 - 9.51\psi + 8.33\psi^2$　(7-21)

（B）最大压应力作用于自由边（图 7-9d）

当 $\psi \geqslant -1$ 时，$k = 0.567 - 0.213\psi + 0.07\psi^2$　(7-22)

当 $\psi < -1$ 时，以上各式的 k 值按 $\psi = -1$ 的值采用。

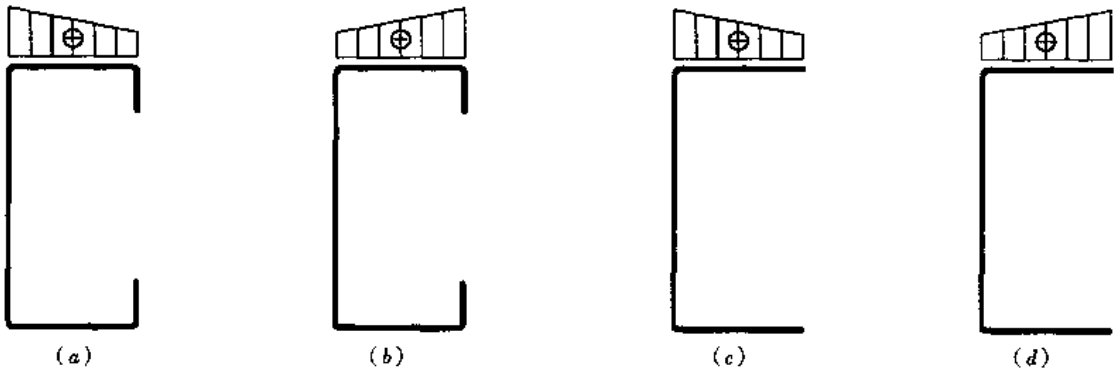


图 7-9　部分加劲板和非加劲板的应力分布示意图

3）受压板件的板组约束系数 k_1 应按下列公式计算：

当 $\xi \leqslant 1.1$ 时　$k_1 = 1/\sqrt{\xi}$　(7-23)

当 $\xi > 1.1$ 时　$k_1 = 0.11 + 0.93/(\xi - 0.05)^2$　(7-24)

$$\xi = \frac{c}{b}\sqrt{\frac{k}{k_c}} \tag{7-25}$$

式中　b——计算板件的宽度；

c——与计算板件邻接的板件宽度；如果计算板件两边均有邻接板件时，即计算板件为加劲板件时，取压应力较大一边的邻接板件宽度；

k——计算板件的受压稳定系数，由公式（7-15～7-22）确定；

k_c——邻接板件的受压稳定系数，由公式（7-15～7-22）确定。

当 $k_1 > k_1'$ 时，取 $k_1 = k_1'$，k_1' 为 k_1 的上限值。对于加劲板件 $k_1' = 1.7$；对于部分加劲板件 $k_1' = 2.4$；对于非加劲板件 $k_1' = 3.0$。

当计算板件只有一边有邻接板件，即在计算板件为非加劲板件或部分加劲板件，且邻接板件受拉时，取 $k_1 = k_1'$。

4）部分加劲板件中卷边的高厚比不宜大于 12，卷边的最小高厚比应根据部分加劲板件的宽厚比按表 7-2 采用。

卷边的最小高厚比　　表 7-2

b/t	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
a/t	5.4	6.3	7.2	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0

注：a—卷边的高度；b—带卷边板件的宽度；t—板厚。

5）当受压板件的宽厚比大于公式（7-12～7-14）规定的有效宽厚比时，受压板件的有效截面应自截面的受压部分按图 7-10 所示位置扣除其超出部分来确定（即图中带斜线部分），截面的受拉部分全部有效。

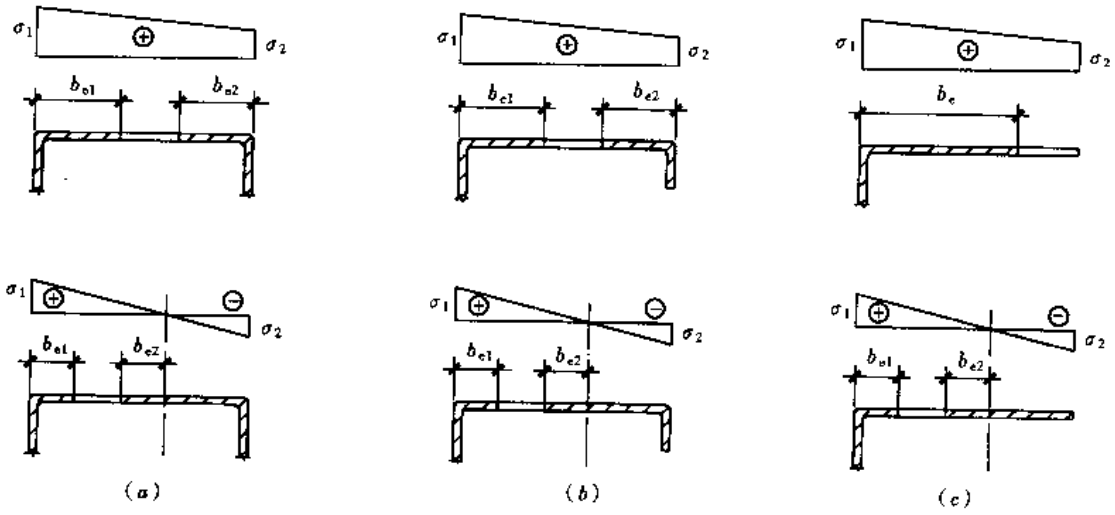


图 7-10 受压板件的有效截面图

（a）加劲板件；（b）部分加劲板件；（c）非加劲板件

图 7-10 中的 b_{e1} 和 b_{e2} 按下列规定计算：

对于加劲板件

当 $\psi \geqslant 0$ 时，

$$b_{e1} = 2b_e/(5-\psi), b_{e2} = b_e - b_{e1} \tag{7-26}$$

当 $\psi < 0$ 时，

$$b_{e1} = 0.4b_e \quad b_{e2} = 0.6b_e \tag{7-27}$$

对于部分加劲板件和非加劲板件

$$b_{e1} = 0.4b_e \quad b_{e2} = 0.6b_e \tag{7-28}$$

式中 b_e 按公式（7-12～7-14）确定。

6）按 2.5.1～2.5.3.（3）款，圆管截面构件的外径与壁厚之比，当采用 Q235 钢时不宜大于 100；采用 Q345 钢时不宜大于 68，此时在计算中可取其截面全部有效。

4. 变形计算

为使屋面较平整，实腹式檩条应验算垂直于屋面方向的挠度，对无积灰的瓦楞铁和石棉瓦屋面，其容许挠度值 $[v] = l/150$；对有积灰的瓦楞铁和石棉瓦屋面、压型钢板、发泡水泥复合板、钢丝网水泥瓦和其他水泥制品瓦材屋面，其容许挠度值 $[v] = l/200$，l 为檩条的跨度（表 2-11）。

对两端简支檩条的挠度可按下式计算

$$v_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{ky} \cdot l^4}{EI_x} \leqslant [v] \tag{7-29}$$

式中 p_{ky}——沿 y 轴线荷载的标准值；

I_x——对主轴 x 的毛截面惯性矩。

对 Z 形钢垂直屋面方向的挠度 v_{y1}

$$v_{y1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_k \cos\alpha \cdot l^4}{EI_{x1}} \leqslant [v] \tag{7-30}$$

式中　α——为屋面坡角；

I_{x1}——对平行于屋面轴 x_1 的毛截面惯性矩。

7.1.5　檩条的布置、连接与构造

1. 檩条在屋架上的布置和搁置

（1）为使屋架上弦杆不产生弯矩，檩条宜位于屋架上弦节点处。当采用内天沟时，边檩应尽量靠近天沟。

（2）实腹式檩条的截面均宜垂直于屋面坡面。对槽钢和Z形钢檩条，宜将上翼缘肢尖（或卷边）朝向屋脊方向，以减小屋面荷载偏心而引起的扭矩。

（3）桁架式檩条的上弦杆宜垂直于屋架上弦杆，而腹杆和下弦杆宜垂直于地面。

（4）脊檩方案

实腹式檩条应采用双檩方案，屋脊檩条应在跨度1/3处用槽钢、角钢或圆钢相互拉结，见图7-11。桁架式檩条在屋脊处采用单檩方案时，虽用钢量较省，但檩条型号增多，构造复杂，故一般采用双檩为宜。

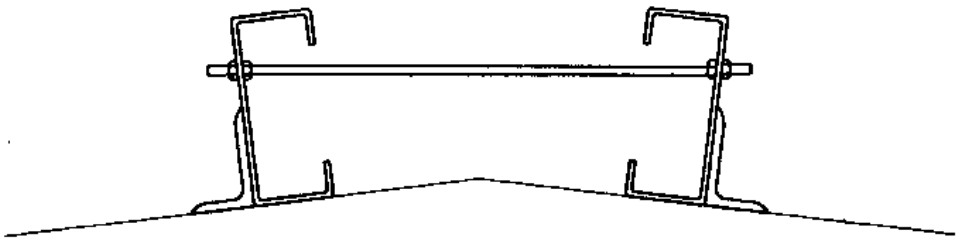


图7-11　脊檩方案（双檩）

2. 檩条与屋面的连接

压型钢板，瓦楞铁和石棉瓦应与檩条可靠连接，以保证屋面能起阻止檩条侧向失稳和扭转的作用，这对一般不需验算整体稳定性的实腹式檩条尤为重要。

檩条与压型钢板屋面的连接，宜采用带橡胶垫圈的自攻螺丝。

3. 檩条与屋架的连接

檩条端部与屋架的连接应能阻止檩条端部截面的扭转，以增强其整体稳定性。

（1）实腹式檩条与屋架的连接处可设置角钢檩托，以防止檩条在支座处的扭转变形和倾覆。檩条端部与檩托的连接螺栓应不少于两个，并沿檩条高度方向设置。当檩条高度较小（小于120mm），排列两个螺栓有困难时，也可改为沿檩条长度方向设置。螺栓直径根据檩条的截面大小，取M12～M16，见图7-12（a）。

当屋面坡度与屋面荷载较小时，也可用钢板直接焊于屋架上弦作为檩托，见图7-12（b）。

轻型H型钢檩条，当截面高度 $h<200$mm 时，可直接用螺栓与屋架连接，见图7-13（a）；当截面高度 $h\geqslant200$mm 时，需将下翼缘切去半肢设檩托与屋架连接，见图7-13（b）。

实腹式檩条与屋架的连接处也可采用搭接，此时檩条按连续构件设计。带斜卷边的Z形檩条可采用叠置搭接（图7-14），卷边C形檩条可采用不同型号的卷边C形钢套置搭接（图7-15）。搭接长度 $2a$ 及其连接螺栓直径，应根据连续梁中间支座处的弯矩确定。在同

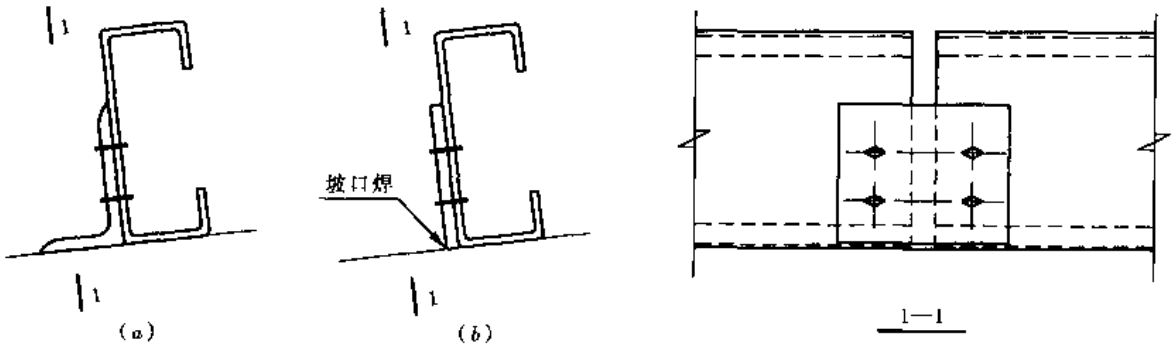


图 7-12 实腹式檩条端部连接

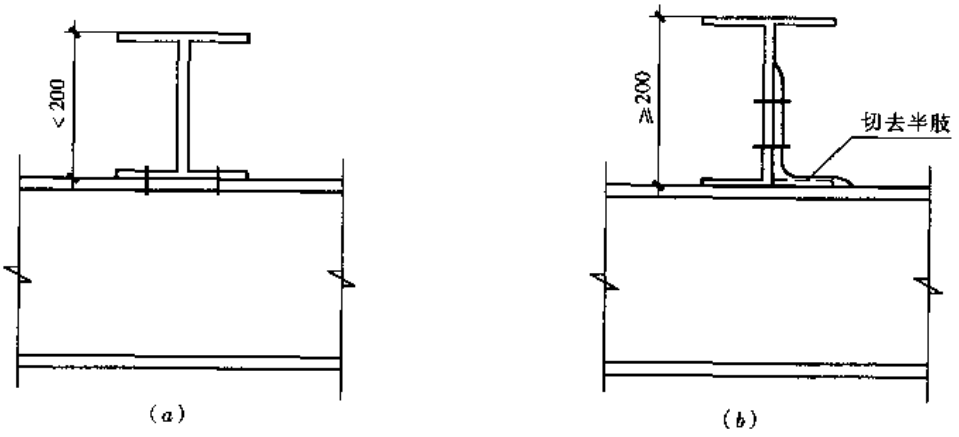


图 7-13 轻型 H 型钢檩条端部连接

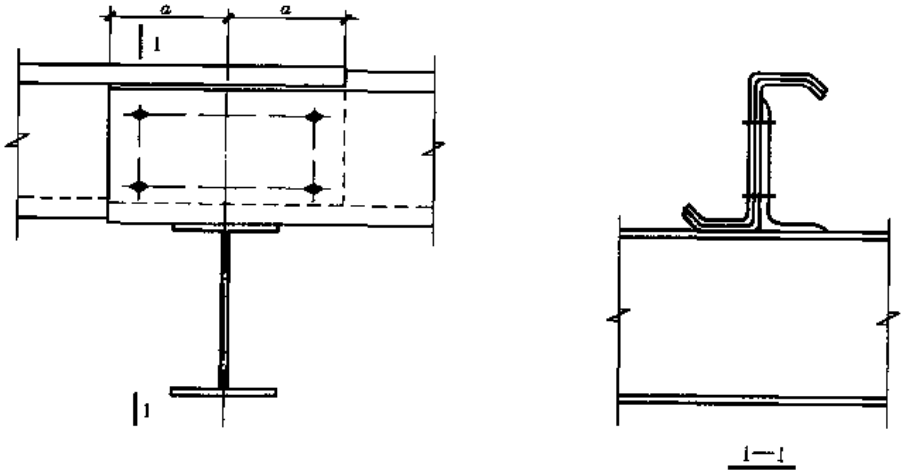


图 7-14 斜卷边 Z 形檩条的搭接

一工程中宜尽量减少搭接长度的类型。

(2) 桁架式檩条一般用螺栓直接与屋架上弦连接，见图 7-16。

4. 檩条的拉条和撑杆

(1) 拉条的设置

檩条的拉条设置与否主要和檩条的侧向刚度有关，对于侧向刚度较大的轻型 H 型钢

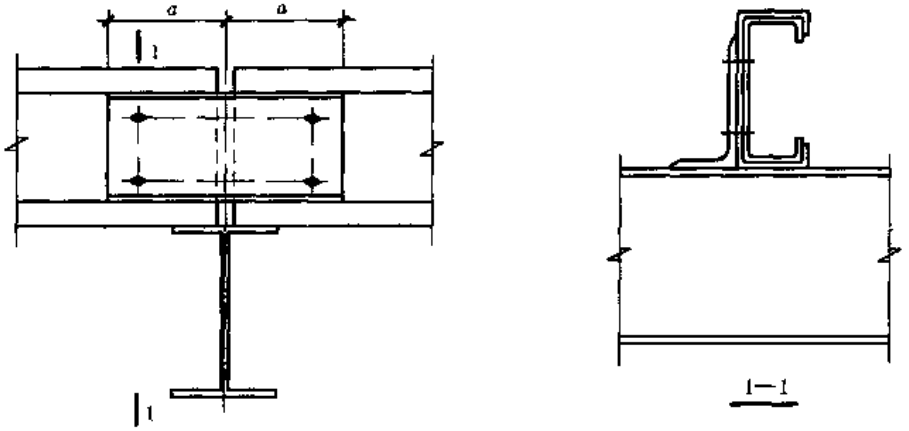


图 7-15　卷边 C 形檩条的搭接

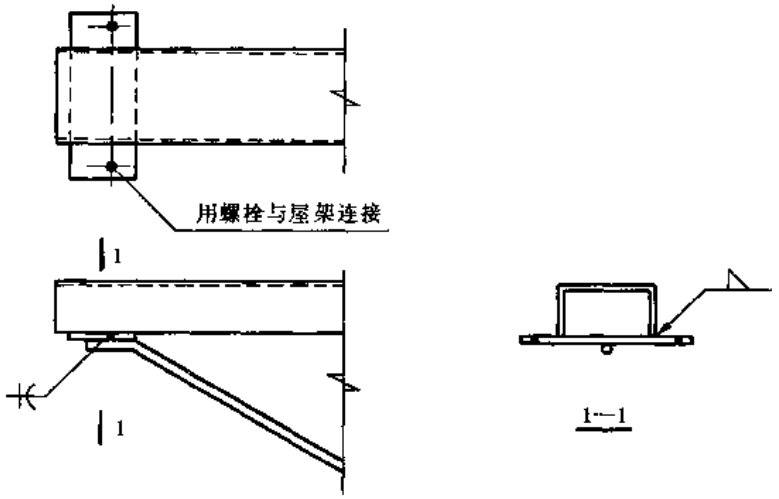


图 7-16　桁架式檩条端部连接

和空间桁架式檩条有时不设拉条。对于侧向刚度较差的实腹式和平面桁架式檩条，为了减小檩条在安装和使用阶段的侧向变形和扭转，保证其整体稳定性，一般需在檩条间设置拉条，作为其侧向支承点。当檩条跨度≤4m 时，可按计算要求确定是否需要设置拉条；当屋面坡度 $i > 1/10$ 或檩条跨度 > 4m 时，应在檩条跨中受压翼缘设置一道拉条；当跨度 > 6m 时，宜在檩条跨度三分点处各设一道拉条。在檐口处还应设置斜拉条和撑杆。圆钢拉条的直径不宜小于 10mm，可根据荷载和檩距大小取 10mm 或 12mm。

（2）撑杆的设置

檩条撑杆的作用主要是限制檐檩和天窗缺口处边檩向上或向下两个方向的侧向弯曲。撑杆的长细比按压杆要求 $\lambda \leqslant 200$，可采用钢管、方管或角钢做成。目前也有采用钢管内设拉条的做法，它的构造简单。撑杆处应同时设置斜拉条。拉条和撑杆的截面应按计算确定，其布置见图 7-17。

（3）拉条和撑杆的连接

拉条和撑杆与檩条的连接见图 7-18。斜拉条与檩条腹板的连接处一般应予弯折，弯折的直段长度不宜过大，以免受力后发生局部弯曲。斜拉条弯折点距腹板边距宜为 10 ~

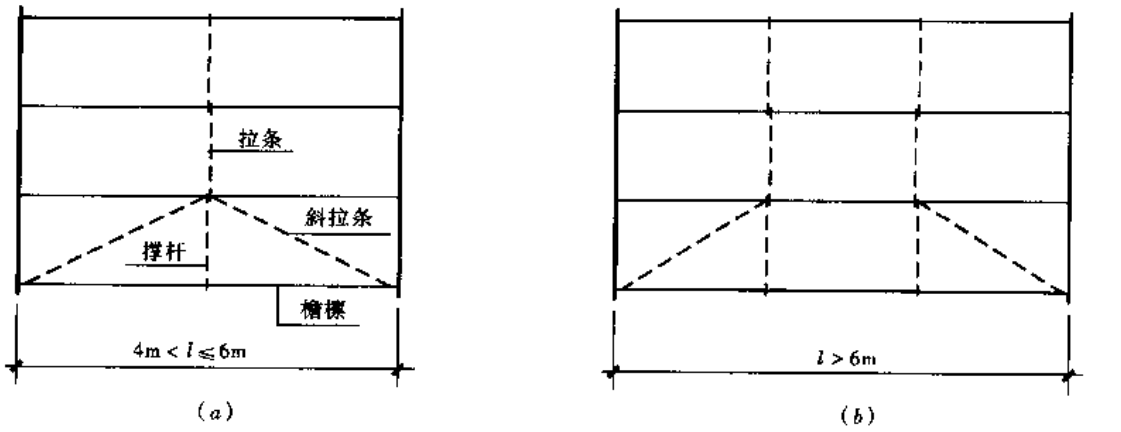


图 7-17 拉条和撑杆布置图

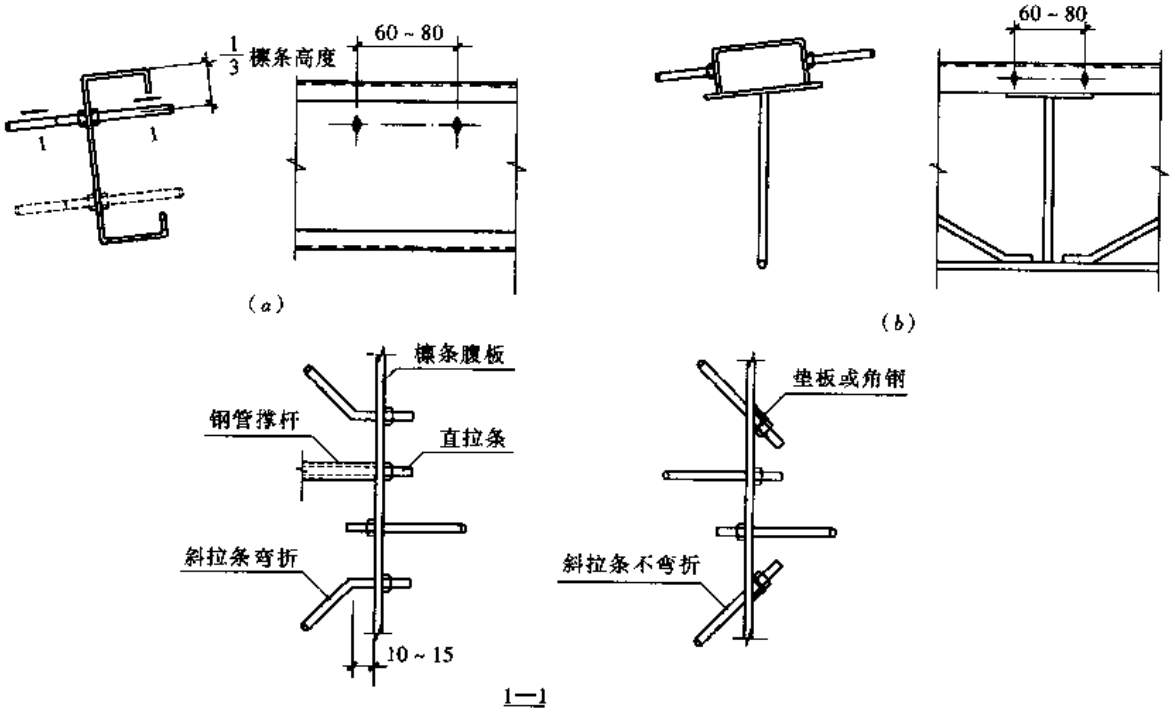


图 7-18 檩条与拉条连接

15mm。如条件许可，斜拉条可不弯折，而采用斜垫板或角钢连接。

斜拉条与屋架的连接，可在屋架上焊一短角钢与斜拉条用螺帽连接，见图 7-19。当屋面坡度较小时，也可直接连接于檩条的檩托或端部的预留孔上（尽量靠檩条底部，见图7-20）。

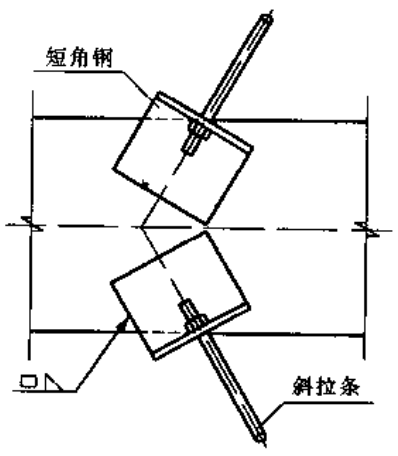


图 7-19 拉条直接与屋架连接

5. 檩条与屋架上弦横向水平支撑的连接

为了减小屋架上弦平面外的计算长度，并增强其平面外的稳定性，可将檩条与屋架上弦横向水平支撑在交叉点处相连，使檩条兼作支撑的竖压杆，参加支撑工作，见图 7-21；此时檩条的长细比不得大于 200（拉条

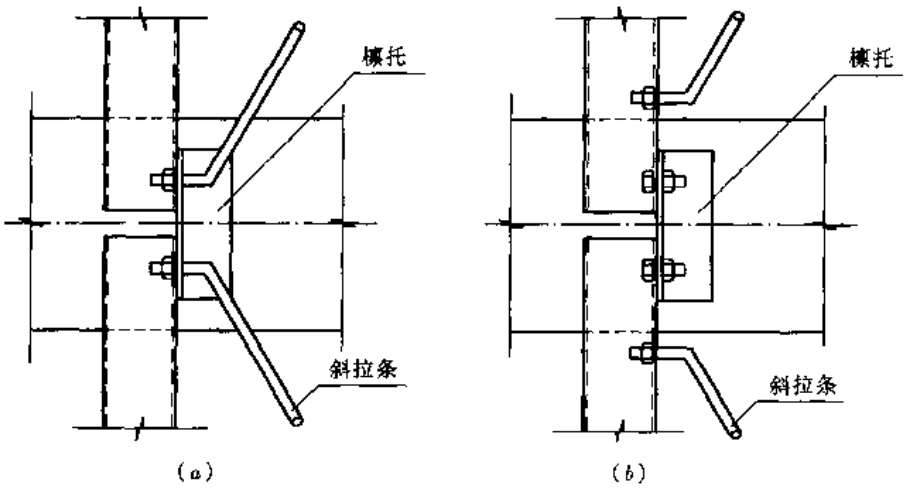


图 7-20　拉条间接与屋架连接

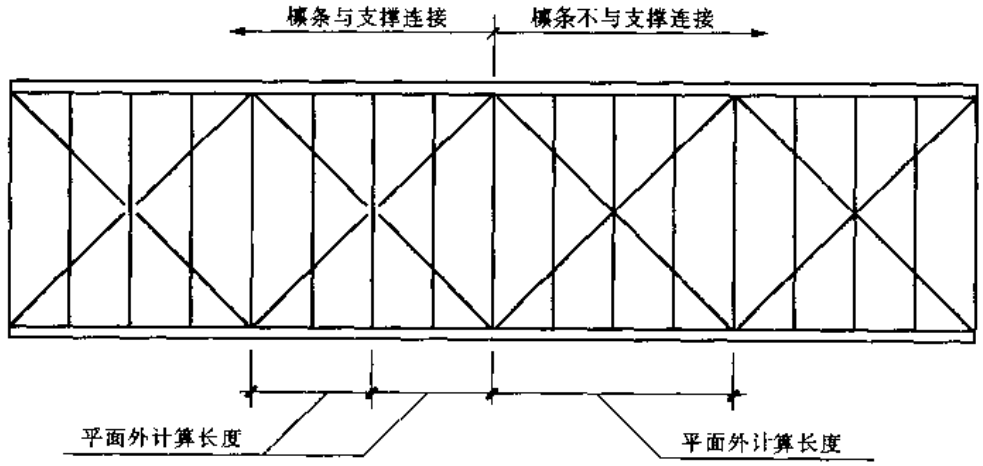


图 7-21　檩条与屋架上弦横向水平支撑的布置

和撑杆可作为侧向支承点)，并应按压弯构件验算其强度和稳定性。

檩条与屋架上弦横向水平支撑的连接见图 7-22。

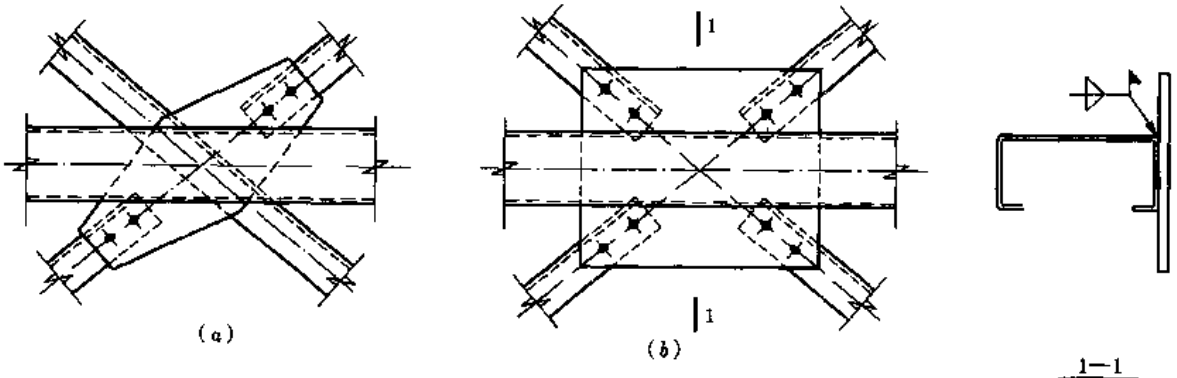


图 7-22　檩条与屋架上弦横向水平支撑的连接

6. 冷弯薄壁型钢的焊接

带卷边冷弯薄壁型钢的焊缝一般为喇叭形，喇叭形焊缝的强度应按下列公式计算：

（1）当连接板件的最小厚度≤4mm 时，轴力 N 垂直于焊缝轴线方向作用的焊缝（如图 7-23）的抗剪强度应按下式计算：

$$\tau = N/l_w t \leqslant 0.8f \qquad (7\text{-}31)$$

轴力 N 平行于焊缝轴线方向作用的焊缝（如图 7-24）的抗剪强度应按下式计算：

$$\tau = N/l_w t \leqslant 0.7f \qquad (7\text{-}32)$$

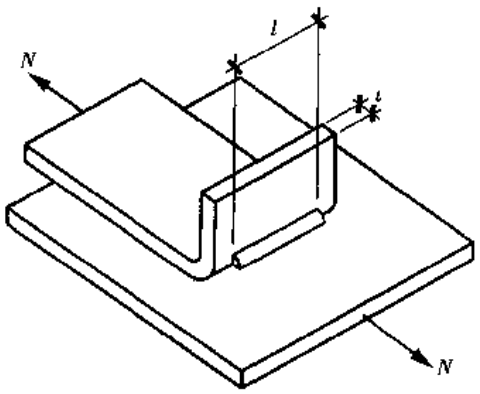


图 7-23 端缝受剪的单边喇叭形焊缝

式中 t——连接板的最小厚度；

l_w——焊缝计算长度之和，每条焊缝的计算长度均取实际长度 l 减去 $2h_f$，h_f 应按图 7-25 确定；

f——连接钢板的抗拉强度设计值，按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》50018—2002 取用。

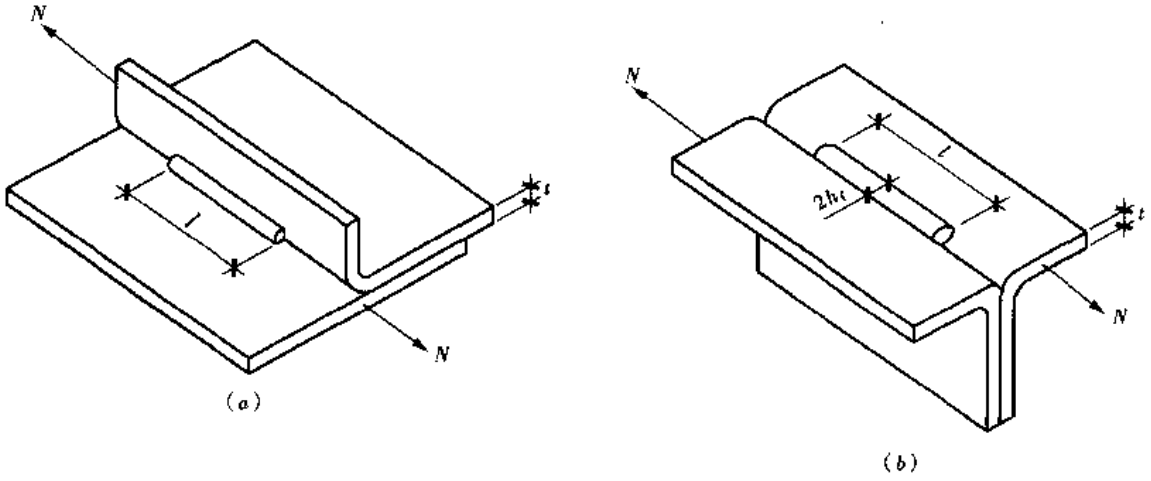


图 7-24 纵向受剪的喇叭形焊缝

（a）单边喇叭形焊缝；（b）喇叭形焊缝

（2）当连接板件的最小厚度 > 4mm 时，纵向受剪的喇叭形焊缝的强度除按公式（7-32）计算外，尚应按公式（4-9）或公式（4-10）做补充验算，但 h_f 应按图 7-24*b* 或 7-25 确定。

7.1.6 檩条设计实例

【例题 7-1】 轻型槽钢檩条

1. 设计资料

屋面材料为石棉水泥波形瓦，干铺油毡一层，20 厚木望板，屋面坡度 1/2.5（$\alpha = 21.80°$），檩条跨度 6m，于跨中设一道拉条，水平檩距 0.75m，沿坡向斜距 0.808m。钢材 Q235。

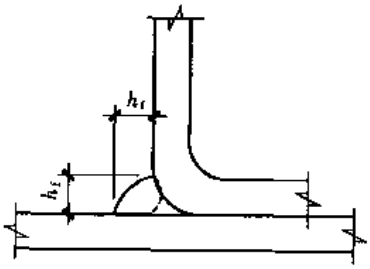


图 7-25 单边喇叭形焊缝

2. 荷载标准值（对水平投影面）

（1）永久荷载：石棉瓦等（含防水及木基层）0.37kN/m^2，

檩条(包括拉条、支撑)自重设为0.1kN/m

(2) 可变荷载：屋面雪荷载为0.40kN/m^2，均布活荷载为0.50kN/m^2，风荷载较小不考虑，由于检修集中荷载1.0kN/m^{2}的等效均布荷载为$2\times1.0/(0.75\times6)=0.444$kN/m^2，小于屋面均布活荷载，故可变荷载采用0.50kN/m^2。

3. 内力计算

(1) 檩条线荷载

$p_k=0.37\times0.808+0.1+0.50\times0.75=0.774$kN/m

$p=1.2\times(0.37\times0.808+0.1)+1.4\times0.50\times0.75=1.004$kN/m

$p_x=p\sin21.80°=0.373$kN/m

$p_y=p\cos21.80°=0.932$kN/m

(2) 弯矩设计值

$M_x=p_yl^2/8=0.932\times6^2/8=4.19$kN·m

$M_y=p_xl^2/32=0.373\times6^2/32=0.42$kN·m

4. 截面选择及强度计算

选用轻型槽钢∟10（见图7-26)。$W_x=34.8$cm^3，$W_{ymax}=14.2$cm^3，$W_{ymin}=6.5$cm^3，$I_x=173.9$cm^4，$i_x=3.99$cm，$i_y=1.37$cm。计算截面有孔洞削弱，考虑0.9的折减系数，则净截面模量为：$W_{nx}=0.9\times34.8\approx31.32$cm^3，$W_{nymax}=0.9\times14.2=12.78$cm^3，$W_{nymin}=0.9\times6.5=5.85$cm^3。屋面能阻止檩条失稳和扭转，截面的塑性发展系数$\gamma_x=1.05$，$\gamma_y=1.20$，按公式（3-2）计算截面a、b点的强度为

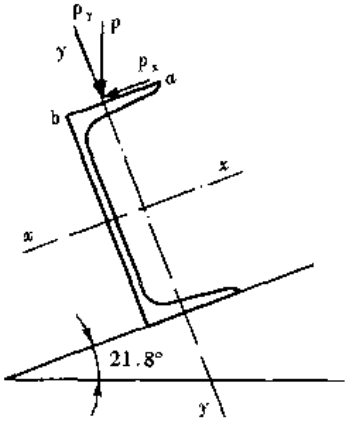


图7-26　檩条截面力系图

$$\sigma_a=\frac{M_x}{\gamma_xW_{nx}}+\frac{M_y}{\gamma_yW_{nymin}}=\frac{4.19\times10^6}{1.05\times31.32\times10^3}-\frac{0.42\times10^6}{1.2\times5.85\times10^3}$$
$$=67.6\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_b=\frac{M_x}{\gamma_xW_{nx}}+\frac{M_y}{\gamma_yW_{nymax}}=\frac{4.19\times10^6}{1.05\times31.32\times10^3}+\frac{0.42\times10^6}{1.2\times12.78\times10^3}$$
$$=154.8\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

5. 挠度计算

按公式（7-29）计算的挠度为

$$v_y=\frac{5}{384}\cdot\frac{0.774\times\cos21.80°\times6000^4}{206\times10^3\times173.9\times10^4}=33.85\text{mm}<l/150=40\text{mm(无积灰)}$$

6. 构造要求

$\lambda_x=600/3.99=150.4<200$，$\lambda_y=300/1.37=219.0>200$

故此檩条不可兼作屋面平面内的支撑竖杆或刚性系杆，只可兼作柔性系杆。

【例题7-2】　冷弯薄壁卷边槽钢（C形）檩条

1. 设计资料

屋面材料为压型钢板，屋面坡度1/10（$\alpha=5.71°$），檩条跨度6m，于跨中设一道拉条，水平檩距1.5m。钢材Q235。

2. 荷载标准值（对水平投影面）

(1) 永久荷载：

压型钢板（含保温）	0.25
檩条（包括拉条）	0.05
	0.30kN/m^2

(2) 可变荷载：屋面均布活荷载和雪荷载的最大值为0.50kN/m^2。

3. 内力计算

(1) 檩条线荷载

$p_k = (0.30 + 0.50) \times 1.5 = 1.20\text{kN/m}$

$p = (1.2 \times 0.30 + 1.4 \times 0.50) \times 1.5 = 1.59\text{kN/m}$

$p_x = p\sin 5.71° = 0.158\text{kN/m}$

$p_y = p\cos 5.71° = 1.582\text{kN/m}$

(2) 弯矩设计值

$M_x = p_y l^2/8 = 1.582 \times 6^2/8 = 7.12\text{kN·m}$

$M_y = p_x l^2/32 = 0.158 \times 6^2/32 = 0.18\text{kN·m}$

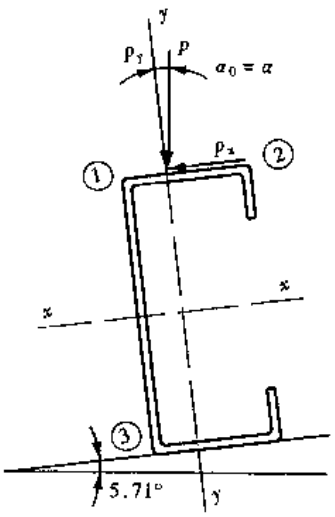


图 7-27 檩条截面力系图

4. 截面选择及截面特性

(1) 选用 C180×70×20×2.2（见图 7-27）。

$I_x = 374.90\text{cm}^4$，$W_x = 41.66\text{cm}^3$，$I_y = 48.97\text{cm}^4$，$W_{ymax} = 23.19\text{cm}^3$，$W_{ymin} = 10.02\text{cm}^3$

$i_x = 7.06\text{cm}$，$i_y = 2.55\text{cm}$，$x_0 = 2.11\text{cm}$

先按毛截面计算的截面应力为：

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_{ymin}} = \frac{7.12 \times 10^6}{41.66 \times 10^3} + \frac{0.18 \times 10^6}{23.19 \times 10^3} = 178.7\text{N/mm}^2\text{(压)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_{ymin}} = \frac{7.12 \times 10^6}{41.66 \times 10^3} - \frac{0.18 \times 10^6}{10.02 \times 10^3} = 152.9\text{N/mm}^2\text{(压)}$$

$$\sigma_3 = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_{ymax}} = \frac{7.12 \times 10^6}{41.66 \times 10^3} - \frac{0.18 \times 10^6}{23.19 \times 10^3} = 163.1\text{N/mm}^2\text{(拉)}$$

(2) 受压板件的稳定系数

1) 腹板

腹板为加劲板件，$\psi = \sigma_{min}/\sigma_{max} = -163.1/178.7 = -0.913 \geqslant -1$，由公式 (7-16)

$$k = 7.8 - 6.29\psi + 9.78\psi^2 = 7.8 - 6.29 \times (-0.913) + 9.78 \times (-0.913)^2 = 21.695$$

2) 上翼缘板

上翼缘板为最大压应力作用于部分加劲板件的支承边，$\psi = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 152.9/178.7 = 0.856 \geqslant -1$，由公式 (7-17)

$$k = 5.89 - 11.59\psi + 6.68\psi^2 = 5.89 - 11.59 \times 0.856 + 6.68 \times 0.856^2 = 0.864$$

(3) 受压板件的有效宽度

1) 腹板

$k = 21.695$，$k_c = 0.864$，$b = 180\text{mm}$，$c = 70\text{mm}$，$t = 2.2\text{mm}$，$\sigma_1 = 178.7\text{N/mm}^2$，由公式 (7-25)

$$\xi = \frac{c}{b}\sqrt{\frac{k}{k_c}} = \frac{70}{180}\sqrt{\frac{21.695}{0.864}} = 1.949 > 1.1$$

按公式（7-24）计算的板组约束系数为

$$k_1 = 0.11 + 0.93/(\xi - 0.05)^2 = 0.11 + 0.93/(1.949 - 0.05)^2 = 0.368$$

按公式（7-12）～（7-14）

$$\rho = \sqrt{205 k_1 k/\sigma_1} = \sqrt{205 \times 0.368 \times 21.695/178.7} = 3.027$$

由于 $\psi < 0$，则 $\alpha = 1.15$，$b_e = b/(1-\psi) = 180/(1+0.913) = 94.09\text{mm}$

$b/t = 180/2.2 = 81.82, 18\alpha\rho = 18 \times 1.15 \times 3.027 = 62.66, 38\alpha\rho = 38 \times 1.15 \times 3.027 = 132.28$，所以 $18\alpha\rho < b/t < 38\alpha\rho$，按公式（7-13）计算的截面有效宽度为

$$b_e = \left(\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{b/t}} - 0.1\right) b_c = \left(\sqrt{\frac{21.8 \times 1.15 \times 3.027}{81.82}} - 0.1\right) \times 94.09 = 81.21\text{mm}$$

由公式（7-27），$b_{e1} = 0.4 b_e = 0.4 \times 81.21 = 32.48\text{mm}$，$b_{e2} = 0.6 b_e = 0.6 \times 81.21 = 48.73\text{mm}$

2）上翼缘板

$k = 0.864, k_c = 21.695, b = 70\text{mm}, c = 180\text{mm}, \sigma_1 = 178.7\text{N/mm}^2$，由公式(7-25)

$$\xi = \frac{c}{b}\sqrt{\frac{k}{k_c}} = \frac{180}{70}\sqrt{\frac{0.864}{21.695}} = 0.513 < 1.1$$

按公式（7-23）计算的板组约束系数为

$$k_1 = 1/\sqrt{\xi} = 1/\sqrt{0.513} = 1.396$$

$$\rho = \sqrt{205 k_1 k/\sigma_1} = \sqrt{205 \times 1.396 \times 0.864/178.7} = 1.384$$

由于 $\psi > 0$，则 $\alpha = 1.15 - 0.15\psi = 1.15 - 0.15 \times 0.856 = 1.022, b_e = b = 70\text{mm}$

$b/t = 70/2.2 = 31.82, 18\alpha\rho = 18 \times 1.022 \times 1.384 = 25.46, 38\alpha\rho = 38 \times 1.022 \times 1.384 = 53.75$，所以 $18\alpha\rho < b/t < 38\alpha\rho$，按公式（7-13）计算的截面有效宽度为

$$b_e = \left(\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{b/t}} - 0.1\right) b_e = \left(\sqrt{\frac{21.8 \times 1.022 \times 1.384}{31.82}} - 0.1\right) \times 70 = 61.91\text{mm}$$

由公式（7-28），$b_{e1} = 0.4 b_e = 0.4 \times 61.91 = 24.76\text{mm}$，$b_{e2} = 0.6 b_e = 0.6 \times 61.91 = 37.15\text{mm}$

3）下翼缘板

下翼缘板全截面受拉，全部有效。

（4）有效净截面模量

上翼缘板的扣除面积宽度为：$70 - 61.91 = 8.09\text{mm}$；腹板的扣除面积宽度为：$94.09 - 81.21 = 12.88\text{mm}$，同时在腹板的计算截面有一 $\phi 13$ 拉条连接孔（距上翼缘板边缘 35mm），孔位置与扣除面积位置基本相同，所以腹板的扣除面积宽度按 13mm 计算，见图 7-28。有效净截面模量为

$$W_{enx} = \frac{374.9 \times 10^4 - 8.09 \times 2.2 \times 90^2 - 13 \times 2.2 \times (90 - 35)^2}{90}$$

$$= 3.909 \times 10^4\text{mm}^3$$

$$W_{eny_{max}} = \frac{48.97 \times 10^4 - 8.09 \times 2.2 \times (8.09/2 + 24.76 - 21.2)^2 - 13 \times 2.2 \times (21.1 - 22/2)^2}{21.1}$$

$$= 2.261 \times 10^4 \text{mm}^3$$

$$W_{\text{eny}_{\min}} = \frac{48.97 \times 10^4 - 8.09 \times 2.2 \times (8.09/2 + 24.76 - 21.1)^2 - 13 \times 2.2 \times (21.1 - 22/2)^2}{(70 - 21.1)}$$

$$= 0.976 \times 10^4 \text{mm}^3$$

$W_{\text{enx}}/W_x = 0.938$，$W_{\text{eny}_{\max}}/W_{y\max} = 0.975$，$W_{\text{eny}_{\min}}/W_{y\min} = 0.974$。为简化计算可取 $W_{\text{enx}} = 0.95W_x$，$W_{\text{eny}} = 0.95W_y$；当下翼缘有拉条孔时可取 $W_{\text{enx}} = 0.9W_x$，$W_{\text{eny}} = 0.9W_y$。

5. 强度计算

屋面能阻止檩条侧向失稳和扭转，按公式（7-6）计算①、②点的强度为：

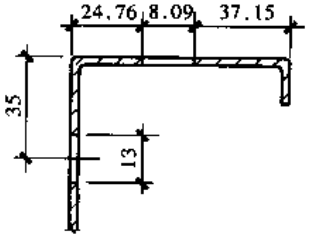


图 7-28 檩条有效截面图

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{W_{\text{enx}}} + \frac{M_y}{W_{\text{eny}_{\max}}} = \frac{7.12 \times 10^6}{3.909 \times 10^4} + \frac{0.18 \times 10^6}{2.261 \times 10^4}$$

$$= 190.1\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{M_x}{W_{\text{enx}}} + \frac{M_y}{W_{\text{eny}_{\min}}} = \frac{7.12 \times 10^6}{3.909 \times 10^4} - \frac{0.18 \times 10^6}{0.976 \times 10^4}$$

$$= 163.7\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

本例风荷载较小，永久荷载与风荷载组合不起控制作用。

6. 挠度计算

按公式（7-29）计算的挠度为

$$v_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{1.2 \times \cos 5.71° \times 6000^4}{206 \times 10^3 \times 374.9 \times 10^4} = 26.09\text{mm} < l/200 = 30\text{mm}$$

7. 构造要求

$$\lambda_x = 600/7.06 = 85.0 < 200，\ \lambda_y = 300/2.55 = 117.6 < 200$$

故此檩条在平面内、外均满足要求。

【例题 7-3】 冷弯薄壁卷边槽钢檩条（风吸力控制）

1. 设计资料

封闭式建筑，屋面材料为压型钢板，屋面坡度 1/10（$\alpha = 5.71°$），檩条跨度 6m，于 $l/2$处设一道拉条；水平檩距 1.50m。檐口距地面高度 8m，屋脊距地面高度 9.2m。钢材 Q235。

2. 荷载标准值（对水平投影面）

永久荷载：压型钢板（单层无保温）自重为 0.12kN/m^2，檩条（包括拉条）自重设为 0.05kN/m^2。

可变荷载：屋面均布活荷载或雪荷载最大值为 0.50kN/m^2。基本风压 $w_0 = 0.40\text{kN/m}^2$，地面粗糙度类别 B 类。

3. 内力计算

（1）永久荷载与屋面活荷载组合

檩条线荷载

$$p_k = (0.17 + 0.50) \times 1.5 = 1.005\text{kN/m}$$

$$p = (1.2 \times 0.17 + 1.4 \times 0.50) \times 1.5 = 1.356\text{kN/m}$$

$$p_x = p\sin 5.71° = 0.135\text{kN/m}$$

$$p_y = p\cos 5.71° = 1.349\text{kN/m}$$

弯矩设计值

$$M_x = p_y l^2/8 = 1.349 \times 6^2/8 = 6.07\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_y = p_x l^2/32 = 0.135 \times 6^2/32 = 0.15\text{kN}\cdot\text{m}$$

（2）永久荷载与风荷载吸力组合

按《建筑结构荷载规范》GB50009—2001，房屋高度小于10m，风荷载高度变化系数取10m高度处的数值，$\mu_z = 1.0$。按《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS102：2002附录A，风荷载体型系数为$1.5\log A - 2.9 = 1.47$（边缘带），$A = 1.5 \times 6 = 9\text{m}^2$。

垂直屋面的风荷载标准值：

$$w_k = \mu_s \cdot \mu_z \cdot w_0 = -1.47 \times 1.0 \times (1.05 \times 0.4) = -0.617\text{kN/m}^2$$

檩条线荷载

$$p_{ky} = (0.617 - 0.17 \times \cos 5.71°) \times 1.5 = 0.646\text{kN/m}$$

$$p_x = 0.17 \times 1.5 \times \sin 5.71° = 0.025\text{kN/m}$$

$$p_y = 1.4 \times 0.617 \times 1.5 - 0.17 \times 1.5 \times \cos 5.71° = 1.04\text{kN/m}$$

弯矩设计值（采用受压下翼缘不设拉条的方案）

$$M_x = p_y l^2/8 = 1.04 \times 6^2/8 = 4.68\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_y = p_x l^2/8 = 0.025 \times 6^2/8 = 0.11\text{kN}\cdot\text{m}$$

4. 截面选择

选用C160×70×20×3.0（见图7-27）。

$A = 9.45\text{cm}^2$，$W_x = 46.71\text{cm}^3$，$W_{ymax} = 27.17\text{cm}^3$，$W_{ymin} = 12.65\text{cm}^3$，$I_x = 373.64\text{cm}^4$，$I_y = 60.42\text{cm}^4$，$I_t = 0.2836\text{cm}^4$，$I_\omega = 3070.5\text{cm}^6$

$i_x = 6.29\text{cm}$，$i_y = 2.53\text{cm}$，$x_0 = 2.22\text{cm}$，$e_0 = 5.25\text{cm}$

5. 强度计算

（1）有效净截面模量

按例题7-2同样方法计算腹板和上翼缘板全截面有效。在腹板的计算截面有一ϕ13拉条连接孔（距上翼缘板边缘35mm），见图7-29，则有效净截面模量为

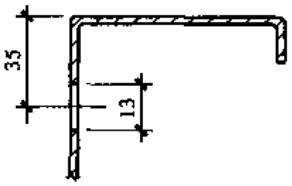


图7-29　檩条有效截面图

$$W_{enx} = \frac{373.64 \times 10^4 - 13 \times 3 \times (80-35)^2}{80} = 4.572 \times 10^4\text{mm}^3$$

$$W_{eny_{max}} = \frac{60.42 \times 10^4 - 13 \times 3 \times (22.2 - 3/2)^2}{22.2} = 2.646 \times 10^4\text{mm}^3$$

$$W_{eny_{min}} = \frac{60.42 \times 10^4 - 13 \times 3 \times (22.2 - 3/2)^2}{(70 - 22.2)} = 1.229 \times 10^4\text{mm}^3$$

（2）屋面能阻止檩条侧向失稳和扭转，按公式（7-6）计算①、②点的强度为：

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{W_{enx}} + \frac{M_y}{W_{eny_{max}}} = \frac{6.07 \times 10^6}{4.572 \times 10^4} + \frac{0.15 \times 10^6}{2.646 \times 10^4} = 138.4\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{M_x}{W_{enx}} + \frac{M_y}{W_{eny_{min}}} = \frac{6.07 \times 10^6}{4.572 \times 10^4} - \frac{0.15 \times 10^6}{1.229 \times 10^4} = 120.6\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

6. 稳定计算

（1）有效截面模量

永久荷载与风吸力组合下的弯矩小于永久荷载与屋面可变荷载组合下的弯矩，根据前面的计算结果，截面全部有效；同时不计孔洞削弱，则

$$W_{ex} = W_x = 46.71\text{cm}^3, W_{ey} = W_{eymin} = 12.65\text{cm}^3$$

（2）受弯构件的整体稳定系数 φ_{bx} 按公式（7-8）～（7-11）计算。

查表 7-1，跨中无侧向支承，$\mu_b = 1.0$，$\xi_1 = 1.13$，$\xi_2 = 0.46$

$e_a = e_0 - x_0 + b/2 = 5.25 - 2.22 + 7/2 = 6.53\text{mm}$（取正值）

$$\eta = 2\xi_2 e_a/h = 2 \times 0.46 \times 6.53/16 = 0.375$$

$$\zeta = \frac{4I_\omega}{h^2 I_y} + \frac{0.156I_t}{I_y}\left(\frac{\mu_b l}{h}\right)^2 = \frac{4 \times 3070.5}{16^2 \times 60.42} + \frac{0.156 \times 0.2836}{60.42}\left(\frac{600}{16}\right)^2 = 1.824$$

$$\lambda_y = 600/2.53 = 237.15$$

$$\varphi_{bx} = \frac{4320Ah}{\lambda_y^2 W_x}\xi_1\left(\sqrt{\eta^2 + \zeta} + \eta\right)\left(\frac{235}{f_y}\right)$$

$$= \frac{4320 \times 9.45 \times 16}{237.15^2 \times 46.71} \times 1.13 \times \left(\sqrt{0.375^2 + 1.824} + 0.375\right) = 0.499 < 0.7$$

（3）风吸力作用使檩条下翼缘受压，按公式（7-7）计算的稳定性为

$$\sigma = \frac{M_x}{\varphi'_{bx} W_{ex}} + \frac{M_y}{W_{ey}} = \frac{4.68 \times 10^6}{0.499 \times 46.71 \times 10^3} + \frac{0.11 \times 10^6}{27.17 \times 10^3}$$

$$= 204.8\text{N/mm}^2 > 138.4\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

计算表明由永久荷载与风荷载组合控制。以上计算未考虑屋面对上翼缘的约束，若考虑这一有利因素，可将公式中屋面自重在 y 方向的分量忽略，即认为在 y 方向产生的弯矩全部由受拉翼缘承受。

7. 挠度计算

按公式（7-29）计算的挠度为

$$v_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{1.005 \times \cos 5.71° \times 6000^4}{206 \times 10^3 \times 373.64 \times 10^4} = 21.9\text{mm} < l/200 = 30\text{mm}$$

8. 构造要求

$$\lambda_x = 600/6.29 = 95,\ \lambda_y = 300/2.53 = 119 < 200$$

故此檩条在平面内、外均满足要求。

【例题 7-4】 冷弯薄壁斜卷边 Z 形钢檩条（连续）

1. 设计资料

屋面材料为夹芯板，屋面坡度 1/3（$\alpha = 18.435°$），檩条跨度 6m，于 $l/2$ 处设一道拉条；水平檩距 1.50m，檩条在与屋架连接处采用叠置搭接。钢材 Q235。

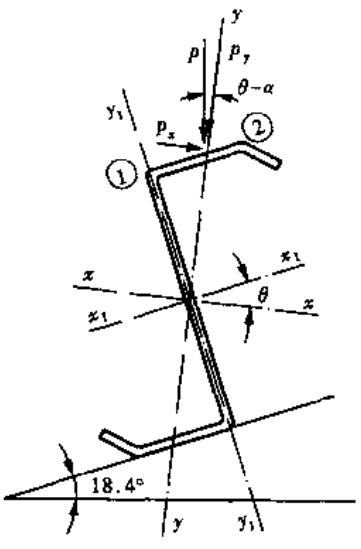


图 7-30 檩条截面力系图

2. 荷载标准值（对水平投影面）

（1）永久荷载：

夹芯板	0.20
檩条自重（包括拉条）	0.05
	0.25kN/m²

（2）可变荷载标准值：屋面均布活荷载和雪荷载最大值 0.50kN/m²。

3. 截面选择

选用斜卷边 Z 形钢 160×60×20×2.2（见图 7-30）。

$W_{x1}=44.225\text{cm}^3$，$W_{x2}=32.367\text{cm}^3$，$W_{y1}=8.753\text{cm}^3$，$W_{y2}=10.450\text{cm}^3$，$I_x=309.891\text{cm}^4$，$I_y=25.503\text{cm}^4$，$I_{x1}=269.592\text{cm}^4$，$i_x=6.756\text{cm}$，$i_y=1.938\text{cm}$；$\theta=22.113°$

4. 内力计算

檩条线荷载：

$$p_k=(0.25+0.50)\times1.5=1.125\text{kN/m}$$

$$p=(1.2\times0.25+1.4\times0.50)\times1.5=1.50\text{kN/m}$$

$$p_x=p\sin(\theta-\alpha)=1.50\times\sin3.678°=0.096\text{kN/m}$$

$$p_y=p\cos(\theta-\alpha)=1.50\times\cos3.678°=1.497\text{kN/m}$$

弯矩设计值：

$$M_x=p_yl^2/10=1.497\times6^2/10=5.39\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_y=p_xl^2/40=0.096\times6^2/40=0.09\text{kN}\cdot\text{m}$$

5. 有效净截面模量

按例题 7-2 同样方法计算的上翼缘板的扣除面积宽度为：60－55.48＝4.52mm；腹板的扣除面积宽度为：80.0－70.48＝9.52mm，同时在腹板的计算截面有一 $\phi13$ 拉条连接孔（距上翼缘板边缘 35mm），孔位置与扣除面积位置重合，所以腹板的扣除面积宽度按 13mm 计算，见图 7-31。有效净截面模量为

$$W_{enx1}=\frac{309.891\times10^4-4.52\times2.2\times[80\cos\theta+(33.29+4.52/2)\sin\theta]^2-13\times2.2\times(45\cos\theta)^2}{70.07}$$

$$=4.243\times10^4\text{mm}^3$$

$$W_{enx2}=\frac{309.891\times10^4-4.52\times2.2\times[80\cos\theta+(33.29+4.52/2)\sin\theta]^2-13\times2.2\times(45\cos\theta)^2}{95.74}$$

$$=3.105\times10^4\text{mm}^3$$

$$W_{eny1}=\frac{25.503\times10^4-4.52\times2.2\times[33.29+4.52/2-80\text{tg}\theta)\cos\theta]^2-13\times2.2\times(45\sin\theta)^2}{29.14}$$

$$=0.847\times10^4\text{mm}^3$$

$$W_{eny2}=\frac{25.503\times10^4-4.52\times2.2\times[33.29+4.52/2-80\text{tg}\theta)\cos\theta]^2-13\times2.2\times(45\sin\theta)^2}{24.40}$$

$$=1.011\times10^4\text{mm}^3$$

$W_{enx1}/W_{x1}=0.959$，$W_{enx2}/W_{x2}=0.959$，$W_{eny1}/W_{y1}=0.968$，$W_{eny2}/W_{y2}=0.967$。

6. 强度计算

屋面能阻止檩条侧向失稳和扭转，按公式（7-6）计算①、②点的强度为：

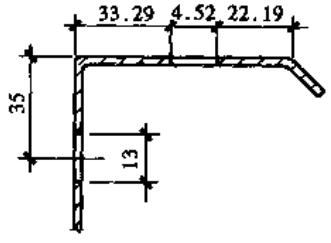


图 7-31　檩条有效截面图

$$\sigma_1=\frac{M_x}{W_{enx1}}+\frac{M_y}{W_{eny1}}=\frac{5.39\times10^6}{4.243\times10^4}+\frac{0.09\times10^6}{0.847\times10^4}$$

$$=116.4\text{N/mm}^2<205\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_2=\frac{M_x}{W_{enx2}}+\frac{M_y}{W_{eny2}}=\frac{5.39\times10^6}{3.105\times10^4}+\frac{0.09\times10^6}{1.011\times10^4}$$

$$=182.5\text{N/mm}^2<205\text{N/mm}^2$$

本例风荷载较小，永久荷载与风荷载组合不起控制作用。

7. 连接螺栓计算

对 x_1 的弯矩设计值

$$M_{x1} = p\cos\alpha \times l^2/10 = 1.50 \times \cos 18.435° \times 6^2/10 = 5.12\text{kN}\cdot\text{m}$$

支座处采用 4M12 C 级普通螺栓连接，见图 7-32；$A = 1.13\text{cm}^2$，$f_v^b = 140\text{N/mm}^2$，螺栓群可承受的弯矩：

$$M = 4f_v^b \cdot A\sqrt{x^2 + y^2} = 4 \times 140 \times 1.13 \times 10^2\sqrt{100^2 + 50^2}$$
$$= 7.07 \times 10^6\text{N}\cdot\text{mm} = 7.07\text{kN}\cdot\text{m} > M_{x1} = 5.12\text{kN}\cdot\text{m}\quad \text{安全。}$$

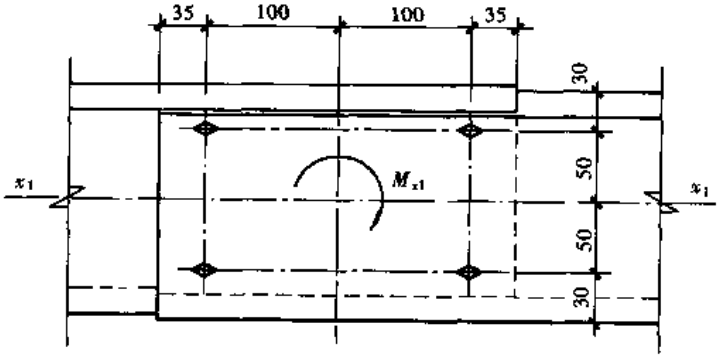


图 7-32 檩条连接详图

8. 挠度计算

偏于安全地按两跨连续梁计算，跨内最大挠度为

$$v_{y1} = \frac{1}{185}\cdot\frac{1.125 \times \cos 18.435° \times 6000^4}{206 \times 10^3 \times 269.592 \times 10^4} = 13.5\text{mm} < l/200 = 30\text{mm}$$

9. 构造要求

$$\lambda_x = 600/6.756 = 89,\quad \lambda_y = 300/1.938 = 155 < 200$$

故此檩条在平面内、外均满足要求。

【例题 7-5】 轻型 H 型钢檩条（$l_0 = 7.5\text{m}$）

1. 设计资料

屋面材料为发泡水泥复合条形屋面板（3.0m × 1.5m），屋面坡度 1/10（$\alpha = 5.71°$），檩条跨度 7.5m，于 $l/2$ 处设一道拉条；水平檩距 3.0m。钢材 Q235。

2. 荷载和内力

（1）永久荷载标准值（对水平投影面）

发泡水泥复合屋面板	0.45
防水层	0.10
檩条自重	0.10
	0.65kN/m^2

（2）可变荷载标准值：屋面均布活荷载或雪荷载最大值为 0.5kN/m^2。

（3）内力计算

檩条线荷载

$$p_k = (0.65 + 0.50) \times 3.0 = 3.45\text{kN/m}$$

$$p = (1.2 \times 0.65 + 1.4 \times 0.50) \times 3.0 = 4.44\text{kN/m}$$

$$p_x = p\sin 5.71° = 0.442\text{kN/m}$$

$$p_y = p\cos 5.71° = 4.418\text{kN/m}$$

弯矩设计值

$$M_x = p_y l^2/8 = 4.418 \times 6^2/8 = 19.88\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = p_x l^2/32 = 0.442 \times 6^2/32 = 0.50\text{kN} \cdot \text{m}$$

3. 截面选择及强度计算

选用轻型 H 型钢 250×125×3.2×4.5（见图 7-33）。

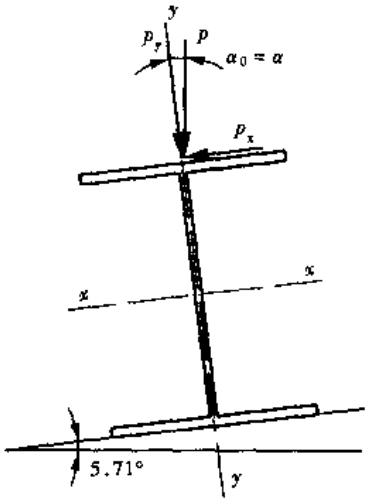


图 7-33　檩条截面力系图

$W_x = 165.48\text{cm}^3$，$W_y = 23.45\text{cm}^3$，$I_x = 2068.56\text{cm}^4$，$I_y = 146.55\text{cm}^4$，$i_x = 10.44\text{cm}$，$i_y = 2.78\text{cm}$ 计算截面有一 ϕ13 拉条连接孔，距离上翼缘 40mm；净截面模量为

$$W_{nx} = \frac{2068.56 \times 10^4 - 13 \times 3.2 \times (125 - 40)^2}{125} = 1.631 \times 10^5\text{mm}^3$$

$$W_{ny} = \frac{146.55 \times 10^4}{62.5} = 0.234 \times 10^5\text{mm}^3$$

由于受压翼缘自由外伸宽度与其厚度之比 $\frac{(125 - 3.2)/2}{4.5} = 13.5 > 13$，所以不考虑截面的塑性发展，即 $\gamma_x = 1.0$，$\gamma_y = 1.0$。屋面能阻止檩条失稳和扭转，按公式（3-2）计算的强度为

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} = \frac{19.88 \times 10^6}{1.631 \times 10^5} + \frac{0.50 \times 10^6}{0.234 \times 10^5} = 143.3\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

本例风荷载较小，永久荷载与风荷载组合不起控制作用。

4. 挠度计算

按公式（7-29）计算的挠度为

$$v_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{3.45 \times \cos 5.71° \times 7500^4}{206 \times 10^3 \times 2068.56 \times 10^4} = 33.2\text{mm} < l/200 = 37.5\text{mm}$$

5. 构造要求

$$\lambda_x = 750/10.44 = 72，\ \lambda_y = 375/2.78 = 135 < 200$$

故此檩条在平面内、外均满足要求。

【例题 7-6】　轻型 H 型钢檩条（$l_0 = 9\text{m}$）

1. 设计资料

屋面材料为压型钢板，屋面坡度 1/12（$\alpha = 4.76°$），檩条跨度 9m，于 $l/3$ 处各设一道拉条；水平檩距 1.5m。钢材 Q235。

2. 荷载和内力

(1) 永久荷载标准值（对水平投影面）

压型钢板（含保温）	0.25
檩条（包括拉条）	0.11
	0.36kN/m²

(2) 可变荷载标准值：屋面均布活荷载或雪荷载最大值为 0.5kN/m²。

(3) 内力计算

檩条线荷载

$$p_k = (0.36 + 0.50) \times 1.5 = 1.29\text{kN/m}$$

$$p = (1.2 \times 0.36 + 1.4 \times 0.50) \times 1.5 = 1.698\text{kN/m}$$

$$p_x = p\sin 4.76° = 0.141\text{kN/m}$$

$$p_y = p\cos 4.76° = 1.692\text{kN/m}$$

弯矩设计值

$$M_x = p_y l^2/8 = 1.692 \times 9^2/8 = 17.13\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = p_x l^2/360 = 0.141 \times 9^2/360 = 0.03\text{kN} \cdot \text{m}$$

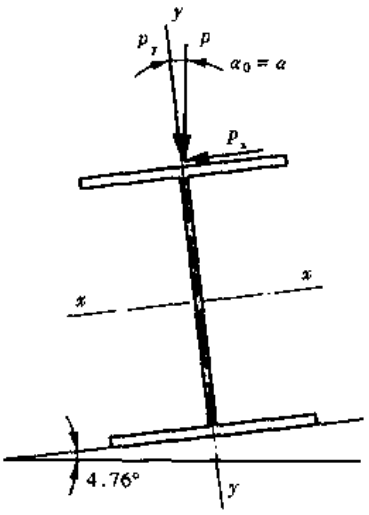


图 7-34 檩条截面力系图

3. 截面选择及强度计算

选用轻型 H 型钢 200×150×3.2×4.5（见图 7-34）。

$A = 19.61\text{cm}^2$，$W_x = 147.60\text{cm}^3$，$W_y = 33.76\text{cm}^3$，$I_x = 1475.97\text{cm}^4$，$I_y = 253.18\text{cm}^4$，$i_x = 8.68\text{cm}$，$i_y = 3.59\text{cm}$

由于受压翼缘自由外伸宽度与其厚度之比 $\frac{b}{t} = \frac{(150-3.2)/2}{4.5} = 16.31 > 15$，不考虑截面的塑性发展，取 $b/t = 15$，则受压翼缘的有效宽度为 $2 \times 15 \times 4.5 + 3.2 = 138.2\text{mm}$，每侧扣除宽度 $(150 - 138.2)/2 = 5.9\text{mm}$，计算截面无孔洞削弱；净截面模量为

$$W_{nx} = \frac{1475.97 \times 10^4 - 2 \times 5.9 \times 4.5 \times (200/2 - 4.5/2)^2}{100} = 142.52 \times 10^3\text{mm}^3$$

$$W_{ny} = \frac{253.18 \times 10^4 - 2 \times 4.5 \times 5.9 \times (150/2 - 5.9/2)^2}{75} = 30.08 \times 10^3\text{mm}^3$$

屋面能阻止檩条失稳和扭转，按公式 (3-2) 计算的强度为

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} = \frac{17.13 \times 10^6}{142.52 \times 10^3} + \frac{0.03 \times 10^6}{30.08 \times 10^3} = 121.2\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

4. 在风吸力下下翼缘的稳定计算

(1) 受弯构件整体稳定系数 φ_b 按表 3-4 和表 3-5 计算。

因檩条拉条靠近上翼缘故不考虑其对下翼缘的约束。

$$\lambda_y = l_{0y}/i_y = 900/3.59 = 251$$

$$\xi = \frac{l_1 t_1}{b_1 h} = \frac{900 \times 0.45}{15 \times 20} = 1.35 < 2.0$$

$$\beta_b = 1.73 - 0.2\xi = 1.73 - 0.2 \times 1.35 = 1.46$$

$$\eta_b = 0$$

$$\varphi_b = \beta_b \frac{4320}{\lambda_y^2} \cdot \frac{Ah}{W_x}\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_y t_1}{4.4h}\right)^2} + \eta_b\right)\frac{235}{f_y}$$

$$= 1.46 \frac{4320}{251^2} \cdot \frac{19.61 \times 20}{147.60}\left(\sqrt{1 + \left(\frac{251 \times 0.45}{4.4 \times 20}\right)^2} + 0\right) \times 1 = 0.433$$

(2) 若屋面为单层压型钢板（自重为 0.12kN/m²），不考虑屋面对上翼缘的约束，亦不考虑屋面自重的 y 分量，则该檩条在永久荷载与风吸力组合下可承受的最大风荷载标准值 w_k 为

$$M_x = \frac{1}{8}[1.4w_k - (0.12 + 0.11)] \times 1.5 \times 9^2$$

$$\sigma = \frac{M_x \times 10^6}{\varphi_b W_x} = f = 215$$

则 $$w_k = \left(\frac{8 \times 215 \times 0.433 \times 147.60 \times 10^3}{1.5 \times 9^2 \times 10^6} + 0.23\right)/1.4 = 0.81\text{kN/m}^2$$

5. 挠度计算

按公式（7-29）计算的挠度为

$$v_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{1.29 \times \cos 4.76° \times 9000^4}{206 \times 10^3 \times 1475.97 \times 10^4} = 36.1\text{mm} < l/200 = 45\text{mm}$$

6. 构造要求

$$\lambda_x = 900/8.68 = 104 < 200,\ \lambda_y = 300/3.59 = 84$$

故此檩条在平面内、外均满足要求。

檩条详图页 137 见图 7-35。

7.1.7　檩条选用

1. 表 7-3 和表 7-4 列出常用跨度和檩距檩条的截面规格及承载能力，供设计参考。

2. 表中截面规格选自《轻型屋面梯形钢屋架》01SG515。其中 G_k 为屋面永久荷载标准值（不包括檩条及拉条自重），Q_k 为屋面可变荷载标准值。

3.6m 跨度檩条于 $l/2$ 处设一道拉条；9m 跨度檩条于 $l/3$ 处各设一道拉条。

4. 荷载组合Ⅰ：1.2 永久荷载 + 1.4 屋面可变荷载，按强度确定承载力。

5. 荷载组合Ⅱ：1.0 屋面永久荷载 + 1.4 风吸力组合，根据稳定确定檩条在给定永久荷载下所能承受的风荷载标准值 $[w_k]$。其中 $G_{k1} = 0.12\text{kN/m}^2$ 为单层压型钢板屋面，$G_{k2} = 0.25\text{kN/m}^2$ 为带保温的压型钢板屋面，G_{k3} 为荷载组合Ⅰ中的 G_k 取值。

5. 在计算 $[w_k]$ 时，未考虑屋面对上翼缘的约束，也未考虑屋面自重的 y 分量和拉条的作用。

6. C 形钢檩条详图见图 7-36，H 型钢见图 7-35。

6m 跨度檩条选用表 表 7-3

序号	截面规格	荷载组合 I				荷载组合 II						重量 (kg)
		1.5m 檩距		3.0m 檩距		1.5m 檩距			3.0m 檩距			
		G_k (kN/m²)	Q_k (kN/m²)	G_k (kN/m²)	Q_k (kN/m²)	$[w_k]$(kN/m²)			$[w_k]$(kN/m²)			
						$G_{k1}=0.12$	$G_{k2}=0.25$	$G_{k3}=G_k$	$G_{k1}=0.12$	$G_{k2}=0.25$	$G_{k3}=G_k$	
1	C160×70×20×3.0	0.3	0.5	—	—	0.63	0.72	0.79	—	—	—	44.5
2	C180×70×20×3.0	0.3	0.7	—	—	0.66	0.76	0.79	—	—	—	47.5
		0.5	0.5	—	—			0.93				
3	H150×75×3.2×4.5	0.5	0.5	—	—	0.56	0.65	0.83	—	—	—	53.0
		0.3	0.7	—	—			0.69				
4	H200×100×3.2×4.5	1.0	1.0	0.5	0.5	1.11	1.21	1.74	0.60	0.69	0.87	71.2
5	H200×150×3.2×4.5	1.3	1.2	—	—	2.36	2.45	3.20	—	—	—	92.4
6	H200×150×4.5×6.0	—	—	1.0	1.0	—	—	—	1.76	1.85	2.39	124.6
7	H200×150×6.0×8.0	—	—	1.3	1.2	—	—	—	2.38	2.47	3.22	165.1

注：表中 $w_k=(8\varphi_{b1}fW_x\cdots\varphi_{bi}fW_x/al_0^2+G_{ki}+g)/1.4$，其中 a 为檩距，l_0 为计算跨度，g 为檩条单位面积的重量。

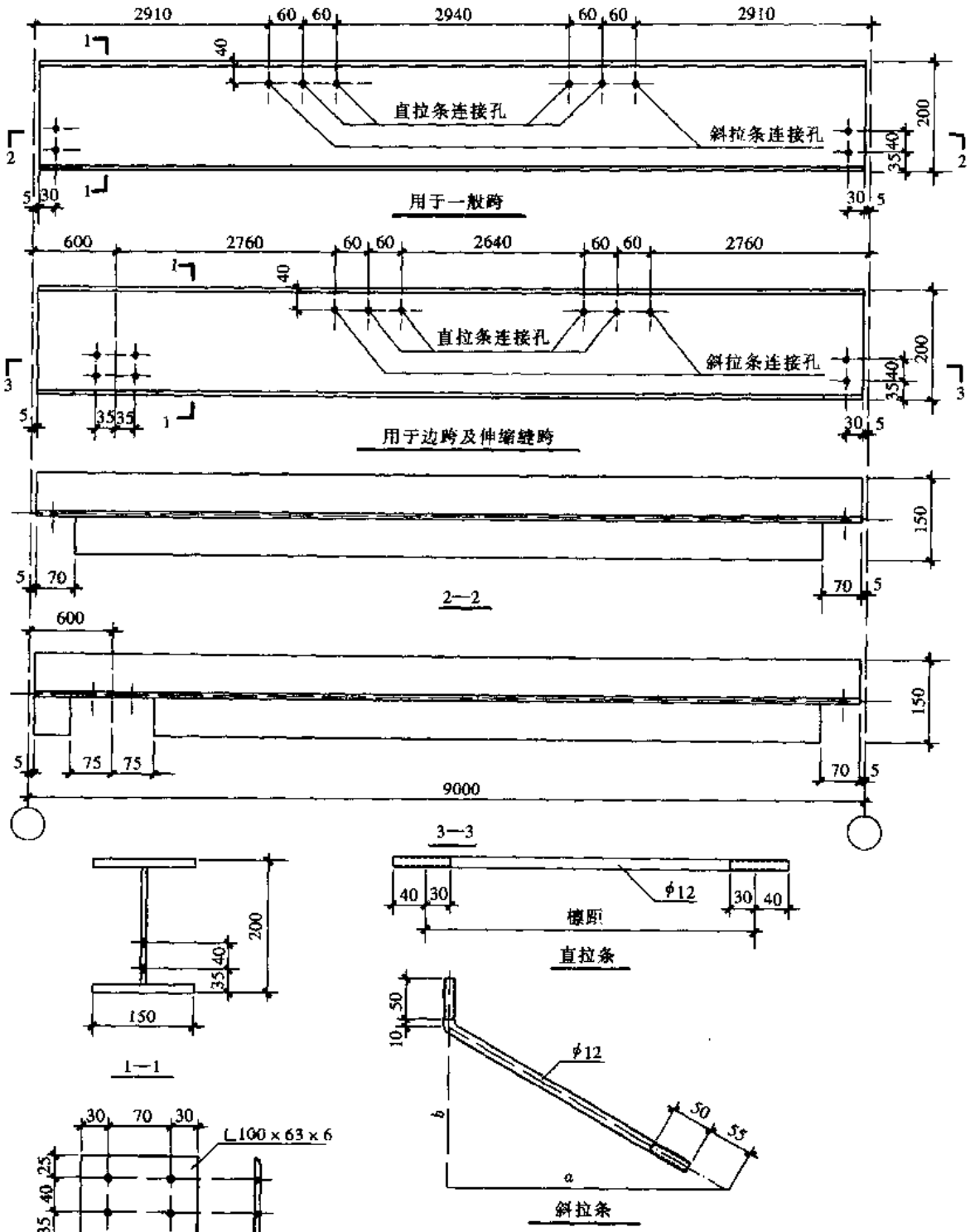
9m 跨度檩条选用表 表 7-4

序号	截面规格	荷载组合 I				荷载组合 II						重量 g (kg)
		1.5m 檩距		3.0m 檩距		1.5m 檩距			3.0m 檩距			
		G_k (kN/m²)	Q_k (kN/m²)	G_k (kN/m²)	Q_k (kN/m²)	$[w_k]$(kN/m²)			$[w_k]$(kN/m²)			
						$G_{k1}=0.12$	$G_{k2}=0.25$	$G_{k3}=G_k$	$G_{k1}=0.12$	$G_{k2}=0.25$	$G_{k3}=G_k$	
1	H200×150×3.2×4.5	0.3	0.7	—	—	0.72	0.82	0.85	—	—	—	138.6
		0.5	0.5	—	—			0.99				
2	H250×150×3.2×4.5	0.8	0.7	0.3	0.5	0.82	0.91	1.31	0.45	0.55	0.58	149.9
3	H250×150×4.5×6.0	—	—	0.5	0.5	—	—	—	0.69	0.78	0.96	202.8
4	H300×150×3.2×4.5	1.0	1.0	—	—	0.92	1.01	1.55	—	—	—	161.2
5	H300×150×4.5×6.0	1.3	1.2	0.8	0.7	1.44	1.53	2.28	0.76	0.85	1.25	218.7
6	H300×150×4.5×8.0	—	—	1.0	1.0	—	—	—	1.06	1.15	1.69	259.8
7	H350×150×6.0×8.0	—	—	1.3	1.2	—	—	—	1.21	1.31	2.06	311.1

注：1. 表中$[w_k]=(8\varphi_b f W_x/\alpha l_0^2+G_{k1}+g)/1.4$，其中 α 为檩距，l_0 为计算跨度，g 为檩条单位面积的重量。

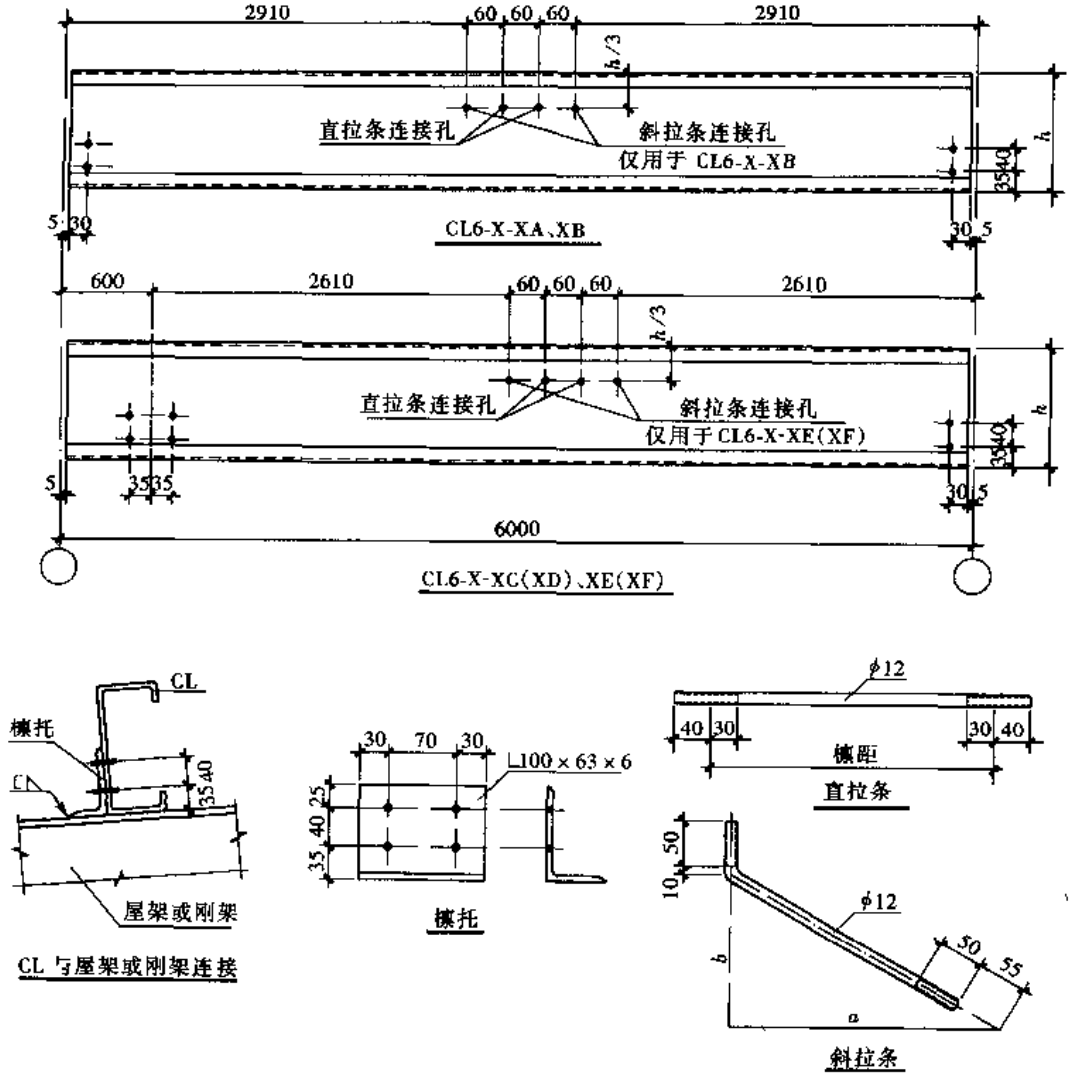
2. 按 CECS102：2003 $w_k=\mu_s\mu_z w_0$，μ_z，w_0 按建筑结构荷载规范 GB50009—2001，但 w_0 应乘以 1.05；μ_s 按 CECS102：2002，封闭室建筑边缘带，当 $6.3<A<10$，$\mu_s=+1.5\log A-2.9$，$A\geq 10$，$\mu_s=-1.4$，A 为有效受风面积(m^2)。

3. 按上式算得的 w_k 应小于表中的$[w_k]$。



注：1. 檩条有正反之分。
2. 斜拉条中的 a、b 值根据檩距及拉条位置确定。
3. 螺栓均为 M12，孔为 Φ13。
4. 凡设置斜拉条的檩距开间内应同时设置直撑杆，构造见图 7-18。

图 7-35 檩条详图（H 型钢）



注：1. B 和 E 有斜拉条，C 与 D，E 与 F 为正反关系。

2. 当檩条高度大于 200 时，檩条一侧宜与屋架或刚架焊接。

3. 斜拉条中的 a、b 值根据檩距及拉条位置确定。

4. 螺栓均为 M12，孔为 ϕ13。

5. 凡设置斜拉条的檩距开间内应同时设置直撑杆，撑杆可用角钢，钢管或直拉条外套钢管，其 $\lambda \leqslant 200$。

图 7-36　檩条详图（C 形钢）

7.2　屋　　架

7.2.1　屋架形式、特点及几何尺寸

屋架的形式主要取决于房屋的使用要求，屋面材料，屋架与柱的连接方式（铰接或刚接），屋盖的整体刚度等。按结构形式可分为梯形屋架、三角形屋架、两铰拱屋架、三铰拱屋架和梭形屋架；按所采用的材料可分为普通钢屋架、轻型钢屋架（杆件为圆钢和小角

钢）和薄壁型钢屋架。

屋面有平坡屋面和斜坡屋面两种。平坡屋面有采用大型屋面板的无檩屋盖体系和采用长尺压型钢板的有檩屋盖体系；斜坡屋面一般为有檩屋盖体系。

屋面坡度 i 根据所采用的屋面材料可取为：

卷材防水屋面	$i = 1/12 \sim 1/8$
长尺压型钢板和夹芯板屋面	$i = 1/20 \sim 1/8$
波形石棉瓦屋面	$i = 1/4 \sim 1/2.5$
瓦楞铁、短尺压型钢板和夹芯板屋面	$i = 1/6 \sim 1/3$

1. 梯形屋架

梯形屋架（图 7-37）通常用于屋面坡度较为平缓的大型屋面板或长尺压型钢板的屋面，跨度一般为 15～36m，柱距 6～12m，跨中经济高度为（1/8～1/10）l。与柱刚接的梯形屋架，端部高度一般为（1/12～1/16）l，通常取 2.0～2.5m；与柱铰接的梯形屋架，端部高度通常取 1.5～2.0m，此时，跨中高度可根据端部高度和上弦坡度确定。在多跨房屋中，各跨屋架的端部高度应尽可能相同。

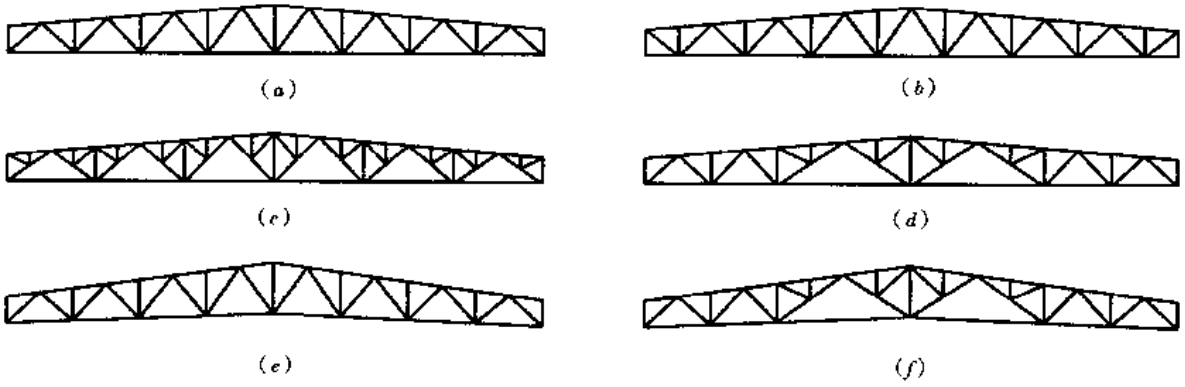


图 7-37 梯形屋架

当采用大型屋面板时，为使荷载作用在节点上，上弦杆的节间长度宜等于板的宽度，即 1.5m 或 3.0m。当采用压型钢板屋面时，也应使檩条尽量布置在节点上，以免上弦杆受弯。对于跨度较大的梯形屋架，为保证荷载作用于节点，并保持腹杆有适宜的角度和便于节点构造处理，可沿屋架全长或只在屋架跨中部分布置再分式腹杆，见图 7-37（c）、（d）。

当大型屋面板的宽度为 1.5m 或压型钢板屋面的檩距为 1.5m 时，如采用 3.0m 的上弦节间长度，可减少节点和杆件数量；但此时屋架上弦杆承受局部弯曲，所需截面尺寸较大，故只能用于屋面荷载较小的情况。

梯形屋架的斜腹杆一般采用人字式，其倾角宜为 35°～55°。支座斜腹杆与弦杆组成的支承节点在下弦时为下承式（图 7-37a），在上弦时为上承式（图 7-37b）。

当屋架跨度较大，且支承柱不高时，梯形屋架宜使人产生压顶的感觉，此时可采用图 7-37e、f 的形式。

2. 三角形屋架

三角形屋架（图 7-38）通常用于屋面坡度较陡的有檩条体系屋盖，屋面材料为波形石

棉瓦、瓦楞铁或短尺压型钢板，屋面坡度一般为 1/3 或 1/2.5。上弦节间长度通常为 1.5m。

三角形屋架与柱的连接为铰接。

三角形屋架的腹杆布置常用芬克式（图 7-38*a*、*b*），其腹杆以等腰三角形再分，短杆受压，长杆受拉，节点构造简单，受力合理。当屋架下弦有吊顶或悬挂设备时，可采用图 7-38*c* 的斜杆式或图 7-38*d* 的人字式的腹杆体系，此种屋架的下弦节间长度通常相等。

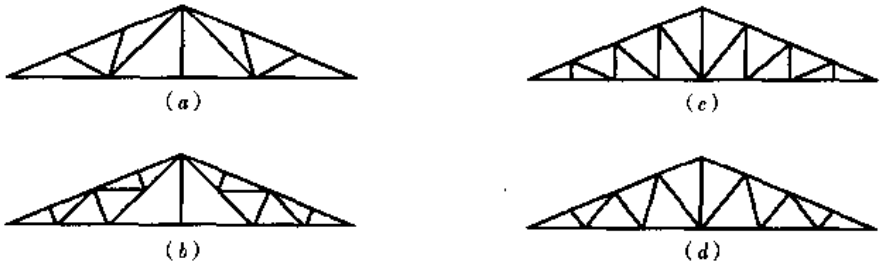


图 7-38　三角形屋架

3. 三铰拱屋架和梭形屋架

三铰拱屋架和梭形屋架属于采用圆钢或小角钢的轻型钢屋架。一般用于跨度 $l \leqslant 18$m，具有起重量 $Q \leqslant 5$t 轻、中轻级工作制（$A_1 \sim A_5$）桥式吊车，且无高温、高湿和强烈侵蚀环境的房屋，以及中小型仓库，农业用温室，商业售货棚等的屋盖。

三铰拱屋架由两根斜梁和一根水平拉杆组成，其外形见图 7-39。斜梁有平面桁架式和空间桁架式两种，斜梁的高度与其长度之比为 1/12 ~ 1/18，空间桁架式斜梁截面的宽度比为 1/1.5 ~ 1/2.5。其特点是杆件受力合理，斜梁的腹杆长度短，一般为 0.6 ~ 0.8m，这对杆件受力和截面选择十分有利，并能够充分利用普通圆钢和小角钢。

图 7-39　三铰拱屋架

梭形屋架（图 7-40）是由两片平面桁架组成的空间桁架结构，其截面重心低，空间刚度好。屋面坡度一般为 1/8 ~ 1/12，跨中高度为其跨度的 1/9 ~ 1/12。屋架的上弦采用角钢，下弦及腹杆采用圆钢。这种屋架适用于跨度 12 ~ 15m，柱距 3 ~ 6m 的中小型工业与民用建筑。

图 7-40　梭形屋架

4. 屋架的起拱

跨度≥24m 的梯形屋架和跨度≥15m 的三角形屋架，当下弦无曲折时，宜起拱，拱度 $v = l/500$。起拱的方法，一般是使下弦成直线弯折而将整个屋架抬高，即上、下弦同时起

拱。为改善人们的感观，近年来已扩大了上述起拱的范围。

7.2.2 屋架荷载

1. 永久荷载（恒荷载）

屋面材料，防水、保温或隔热层，以及屋架、天窗架、檩条、支撑及悬挂管道等重量。

2. 可变荷载

屋面均布活荷载、雪荷载、施工荷载、积灰荷载、风荷载以及悬挂吊车荷载等。

屋面均布活荷载标准值：对于支承轻屋面的屋架，当其受荷水平投影面积超过 $60m^2$ 时取 $0.30kN/m^2$；其他情况取 $0.50kN/m^2$。雪荷载和积灰荷载按荷载规范或当地资料取用。对轻型屋面屋盖结构应考虑在风吸力与永久荷载组合下屋架杆件内力变号及发生屋架支座负反力的锚面问题。

3. 偶然荷载　如地震荷载、爆炸力或其他意外事故产生的荷载。

7.2.3 屋架内力计算

1. 内力计算

屋架内力分析时，应将荷载集中在节点上（节间荷载可换算为节点荷载），并假定所有杆件位于同一平面内，杆件重心线汇交于节点中心，且各节点均为理想铰，不考虑次应力的影响，这样就可用数解法或内力系数法计算屋架杆件的轴心力。但当杆件截面高度与其几何长度（节点中心间的距离）之比大于 1/10（弦杆）和 1/15（腹杆）时，或当钢管杆件截面高度（或直径）与其节间长度之比大于 1/12（主管）和 1/24（支管）时，则应考虑节点刚性引起的次弯矩。

当屋架上弦杆有节间荷载时，首先把节间荷载换算为节点荷载，按上弦无节间荷载计算屋架杆件的轴心力。节点荷载换算有两种近似方法：将所有节间内的荷载按该段节间为简支的支座反力分配到相邻两个节点上作为节点荷载；按节点处的负荷面积换算为该节点的集中荷载。两种方法的计算结果差别很小，但后者较为简便。上弦杆由于节间荷载产生的局部弯矩可近似按下列规定取用：

（1）端节点按铰接取为零，但当有悬挑时，取最大悬臂端弯矩；

（2）端节间的正弯矩取为 $0.8M_0$；

（3）其他节间的正弯矩和节点负弯矩（包括屋脊节点）均取为 $\pm 0.6M_0$。其中 M_0 为相应节间按单跨简支梁计算的最大弯矩。

2. 荷载组合

永久荷载和各种可变荷载的不同组合将对各杆件引起不同的内力。设计时应考虑各种可能的荷载组合，并对每根杆件分别比较考虑哪一种荷载组合引起的内力最为不利，取其作为该杆件的设计内力。

根据公式（2-3）和公式（2-4）考虑由可变荷载效应控制的组合（永久荷载的分项系数为 1.2）和由永久荷载效应控制的组合（永久荷载的分项系数为 1.35）两种情况。对于预应力混凝土大型屋面板等屋面，通常为第二种组合控制。

（1）与柱铰接的屋架，引起屋架杆件最不利内力的各种可能荷载组合有如下几种：

1）全跨永久荷载 + 全跨可变荷载。可变荷载中屋面活荷载与雪荷载不同时考虑，设计时取两者中的较大值与积灰荷载、悬挂吊车荷载组合；另外当雪荷载较大起控制作用

时，还应考虑雪荷载不均匀分布的情况。有纵向天窗时，应分别对中间天窗架处和天窗端壁处的荷载情况计算屋架杆件内力。

2）全跨永久荷载＋半跨屋面活荷载（或半跨雪荷载）＋半跨积灰荷载＋悬挂吊车荷载。这种组合可能导致某些腹杆的内力增大或变号。

若在截面选择时，对内力可能变号的腹杆，不论在全跨荷载作用下是拉杆还是压杆均按压杆 λ 不大于 150 控制其长细比，此时可不必考虑半跨荷载组合。

对屋面为大型屋面板的屋架，尚应考虑安装时的半跨荷载组合，即：屋架及天窗架（包括支撑）自重＋半跨屋面板重＋半跨屋面活荷载。

3）对轻质屋面材料的屋架，当风荷载较大时，风吸力（荷载分项系数取 1.4）可能大于屋面永久荷载（荷载分项系数取 1.0）；此时，屋架弦杆和腹杆中的内力均可能变号，故必须考虑此项荷载组合。

除此之外，可忽略屋架、天窗架上的风荷载对屋架杆件内力的影响。

4）轻型屋面的房屋，当吊车起重量（$Q \geqslant 20$t）或风荷载较大时，尚应考虑排架柱顶剪力对屋架下弦杆内力的影响。

（2）与柱刚接的屋架，应先按铰接屋架计算杆件内力，再与根据框架内力分析得到的屋架端弯矩和水平力进行组合，从而计算出屋架杆件的控制内力。

屋架端弯矩和水平力的最不利组合可分为以下四种情况，见图 7-41。

1）使下弦可能受压的组合，即左端为 $+M_{1max}$ 和 $-H$，右端为 $-M_2$ 和 $-H$（图 7-41a）；

2）使上、下弦内力增加的组合，即左端为 $+M_{1max}$ 和 $+H$，右端为 $+M_2$ 和 $+H$（图 7-41b）；

3）使斜腹杆内力为最不利的组合，分两种情况：一是左端为 $-M_{1max}$，右端为 $+M_2$（图 7-41c）；一是左端为 $+M_{1max}$，右端为 $-M_2$（图 7-41d）。

组合时，应使左端弯矩为最大值，水平力和右端弯矩是同时产生的。

分析屋架杆件内力时，将弯矩 M 用一组偶力 $H = M/h_0$ 代替（图 7-41e），水平力则认为直接由下弦杆传递。将端弯矩和水平力产生的内力与按铰接屋架的内力组合后，即得到刚接屋架各杆件的最不利内力。

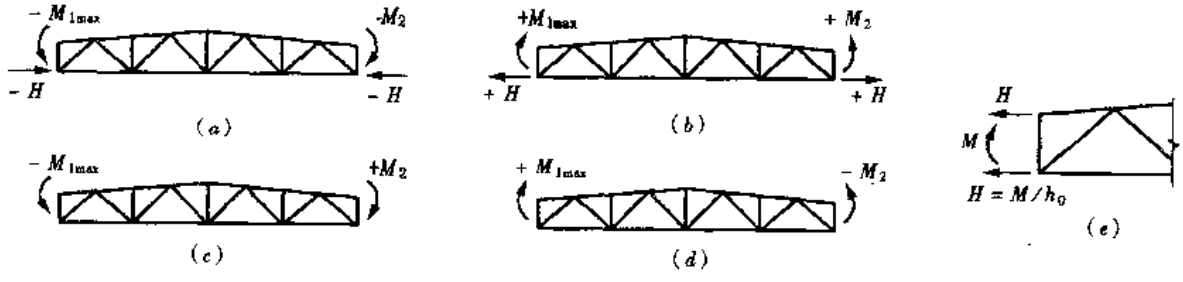


图 7-41　最不利端弯矩和水平力

7.2.4　屋架杆件截面选择

1. 选用原则

（1）杆件截面尺寸应根据其不同的受力情况按第 3 章所列公式经计算确定。

（2）应优先选用具有较大刚度的薄板件或薄肢件组成的截面，但受压（压弯）杆件的

板件或肢件应满足局部稳定的要求。对于受压的钢管杆件应优先选用回转半径较大、厚度较薄的截面，但应符合截面最小厚度的构造要求；方钢管的宽厚比不宜过大，以免出现板件有效宽厚比小于其实际宽厚比较多的不合理现象。

一般情况下，板件或肢件的最小厚度为5mm，对小跨度屋架可为4mm。冷弯薄壁型钢屋架杆件厚度不宜小于2mm，一般不大于4.5mm。圆管截面的受压杆件，其外径与壁厚之比不应超过 $100\ (235/f_y)$。方管或矩形管的最大外缘尺寸与壁厚之比不应超过 $40\sqrt{235/f_y}$。

(3) 普通钢屋架的角钢不得小于 L45×4 或 L56×36×4（对焊接结构），或截面小于 L50×5（对螺栓连接或铆钉连接结构）。直接与支撑或系杆相连的角钢最小肢宽，应根据连接螺栓的直径 d 而定：$d=16$、18、20mm 时，角钢最小肢宽分别为 63、70、75mm。

直接支承大型屋面板的上弦杆，其角钢外伸肢宽度不宜小于 75mm，否则，应在支承处增设外伸的水平板（图 7-49b），以保证屋面板的支承长度。

(4) 跨度≥24m 与柱铰接的屋架，其弦杆可根据内力的变化采用两种截面规格，变截面位置宜在节点处或其附近。

(5) 同一榀屋架中，杆件的截面规格不宜过多。在用钢量增加不多的情况下，宜将杆件截面规格相近的加以统一。一般来说，同一榀屋架中杆件的截面规格不宜超过 6～7 种。

(6) 当连接支撑等的螺栓孔在节点范围内，且距节点板边缘距离≥100mm 时（图 7-42），计算杆件强度可不考虑截面的削弱。

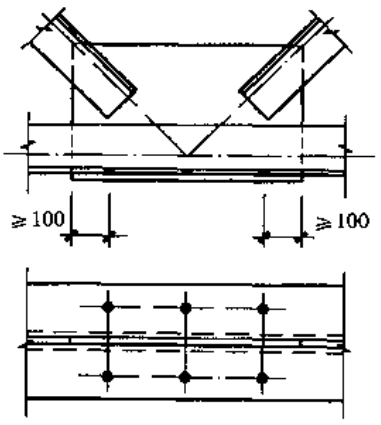


图 7-42 节点板范围内的螺栓孔

(7) 用填板连接面成的双角钢或双槽钢截面，应按组合截面计算，但填板间的距离 l_1 不应超过 $40i$（压杆）和 $80i$（拉杆）。填板宽度一般为 60～100mm，厚度与节点板相同；其长度对双角钢 T 形截面可伸出角钢肢背和角钢肢尖各 10～20mm，对十字形截面则从角钢肢尖缩进 10～20mm；角钢与填板通常用焊脚尺寸为 5mm 或 6mm 侧焊或围焊的角焊缝连接。

当组成图 7-43（a）、（b）所示的双角钢或双槽钢截面时，i 为一个角钢或槽钢平行于填板形心轴的回转半径；当组成图 7-43（c）所示的十字形截面时，i 为一个角钢的最小回转半径。受压杆件两个侧向支承点之间的填板数一般不少于两个。

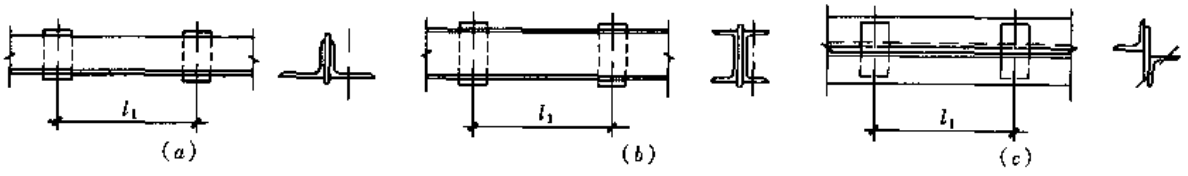


图 7-43 双角钢截面杆件的填板

(8) 计算单面连接的单角钢拉杆和压杆时，钢材和其连接的强度设计值应按表 2-9 乘以下列折减系数：

按轴心受力计算强度和连接时， 0.85；

按轴心受压计算稳定性时：

等边角钢，　　$0.6+0.0015\lambda$，但不大于1.0；

短边相连的不等边角钢，　　$0.5+0.0025\lambda$，但不大于1.0；

长边相连的不等边角钢，　　0.70。

λ 为对中间无连系的单角钢压杆，按最小回转半径计算的长细比，当 $\lambda<20$ 时，取 $\lambda=20$。

(9) 在设计轻型钢屋架时，杆件和连接的强度设计值应乘以下列折减系数：

连接节点板一侧的单圆钢，按轴心受力计算强度和连接时　　0.85；

拱的双圆钢拉杆及其连接　　0.85；

平面桁架式檩条和三铰拱斜梁，其端部主要受压腹杆　　0.85；

其他杆件和连接　　0.95。

2. 截面形式

选择屋架杆件截面形式时，应考虑构造简单、施工方便，且取材容易、易于连接，尽可能增大屋架的侧向刚度。对轴心受力构件宜使杆件在屋架平面内和平面外的长细比接近。

(1) 屋架杆件截面一般采用双角钢组成的T形截面或十字形截面，受力较小的次要杆件可采用单角钢（图7-44）。屋架杆件截面可按以下情况选择：

1) 当屋架上弦杆平面外的计算长度等于或大于平面内的计算长度的2倍时，宜采用短肢相连的不等边角钢组成的T形截面（图7-44*b*）。

当上弦杆平面外的计算长度等于平面内的计算长度，或上弦有节间荷载时，宜采用等肢角钢组成的T形截面（图7-44*a*）。

2) 屋架下弦杆可采用等肢成不等肢角钢组成的T形截面，在用钢量变化不大的情况下，优先选用短肢相连的不等肢角钢组成的T形截面。

3) 支座受压斜腹杆，一般采用长肢相连的不等肢角钢组成的T形截面（图7-44*c*），或等肢角钢组成的T形截面。当支座受压斜腹杆在屋架平面内设有再分式腹杆时，宜选用短肢相连的不等边角钢组成的T形截面。

4) 与屋架垂直支承相连的竖杆，一般宜采用等肢角钢组成的十字截面（图7-44*d*）。一般竖杆和腹杆，可采用等肢角钢组成的T形截面。对于受力较小的次要短杆件，可采用单角钢截面（图7-44*e*）。

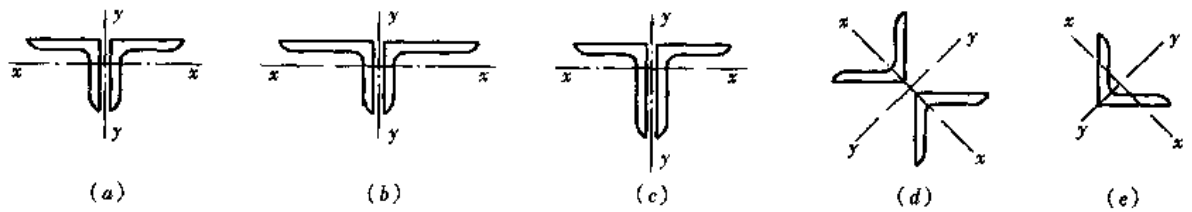


图7-44　屋架杆件的角钢截面

(2) 热轧T型钢（图7-45*a*）不仅可节省节点板，节约钢材，避免双角钢角钢肢背相连处出现腐蚀性现象，且受力合理。《热轧H型钢和剖分T型钢》的发布为采用T型钢代替双角钢T形截面提供了技术保证条件。

(3) 当上弦杆内力很大，用双角钢不能满足要求时，可采用立放的H型钢（图

7-45*b*)。

(4) 钢管截面（图 7-45*d*、*e*）具有刚度大、受力性能好、构造简单、不易锈蚀等优点。热加工管材和冷成型管材不应采用屈服强度超过 Q345 钢以及屈强比 $f_y/f_u > 0.8$ 的钢材，且钢管壁厚不宜大于 25mm。

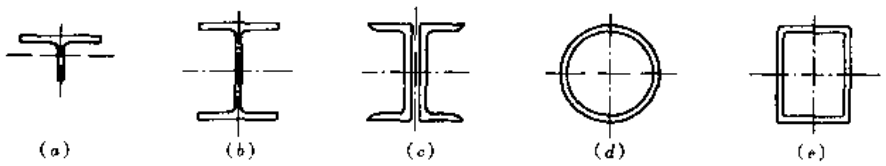


图 7-45 屋架杆件的其他截面

3. 杆件的计算长度

屋架杆件在平面内、外的计算长度 l_{0x}、l_{0y}按表 3-22，如表 7-5。

屋架弦杆和单系腹杆的计算长度 表 7-5

项次	弯曲方向	弦杆	腹杆	
			支座斜杆和支座竖杆	其他腹杆
1	在屋架平面内	l	l	$0.8l$
2	在屋架平面外	l_1	l	l
3	斜平面	—	l	$0.9l$

注：1. l 为构件的几何长度（节点中心间的距离），l_1 为屋架弦杆侧向支承点之间的距离。

2. 斜平面系指与桁架平面斜交的平面，适用于构件截面两主轴均不在桁架平面内的单角钢腹杆和双角钢十字形截面腹杆。

3. 无节点板的腹杆计算长度在任意平面内均取其等于几何长度（钢管结构除外）。

当屋架弦杆侧向支承点之间的距离为节间长度的 2 倍，且两节间的弦杆轴心压力有变化时，则该弦杆在屋架平面外的计算长度按公式（3-77），如下式确定（但不应小于 $0.5l_1$）：

$$l_{0y} = l_1(0.75 + 0.25N_2/N_1) \tag{7-33}$$

屋架再分式腹杆体系的受压主斜杆及 K 形腹杆体系的竖杆等，在屋架平面外的计算长度也应按公式（7-33）确定，受拉主斜杆仍取 l_1；在屋架平面内的计算长度则取节点中心间的距离。

钢管屋架的杆件在平面内、外的计算长度 l_{0x}、l_{0y}见表 7-6。

钢管屋架弦杆和腹杆的计算长度 表 7-6

项次	弯曲方向	弦杆	腹杆	项次	弯曲方向	弦杆	腹杆
1	在屋架平面内	l	l	2	在屋架平面外	l_1	l

注：l 为构件的几何长度（节点中心间距离），l_1 为屋架弦杆侧向支撑点之间的距离。

当弦杆侧向支承点之间的距离为节间长度的 2 倍，且两节间的弦杆轴心压力有变化时，则该弦杆在屋架平面外的计算长度，也应按式（7-33）确定。

屋架杆件的容许长细比 [λ] 见第 2 章表 2-15，表 2-16。

7.2.5 角钢屋架连接节点和计算

1. 基本要求

（1）角钢屋架节点一般采用节点板，各汇交杆件都与节点板相连接，杆件截面重心轴线应汇交于节点中心。截面重心线（工作线）按所选用的角钢规格确定，并取5mm的倍数。

（2）屋架节点板除支座节点外，其余节点宜采用同一厚度的节点板，支座节点板宜比其他节点板厚2mm。

节点板的厚度可根据三角形屋架上弦杆端节间的最大内力（kN），或梯形屋架支座斜腹杆的最大内力（kN），参照表7-7或根据计算（见本节2、(6)条）选用。

钢屋架节点板厚度选用表　　表7-7

端斜杆最大内力（kN）	节点板钢号	Q235	≤160	161～300	301～500	501～700	701～950	951～1200	1201～1550	1551～2000
		Q345	≤240	241～360	351～570	571～780	781～1050	1051～1300	1301～1650	1651～2100
中间节点板厚度（mm）			6	8	10	12	14	16	18	20
支座节点板厚度（mm）			8	10	12	14	16	18	20	22

注：对于支座斜杆为下降式的梯形屋架，应按靠近屋架支座的第二斜腹杆（即最大受压斜腹杆）的内力来确定节点板的厚度。

（3）节点板的形状应简单，如矩形、梯形等，以制作简便及切割钢板时能充分利用材料为原则。节点板的平面尺寸，一般应根据杆件截面尺寸和腹杆端部焊缝长度画出大样来确定，长度和宽度宜为5mm的倍数，在满足传力要求的焊缝布置的前提下，节点板尺寸应尽量紧凑。

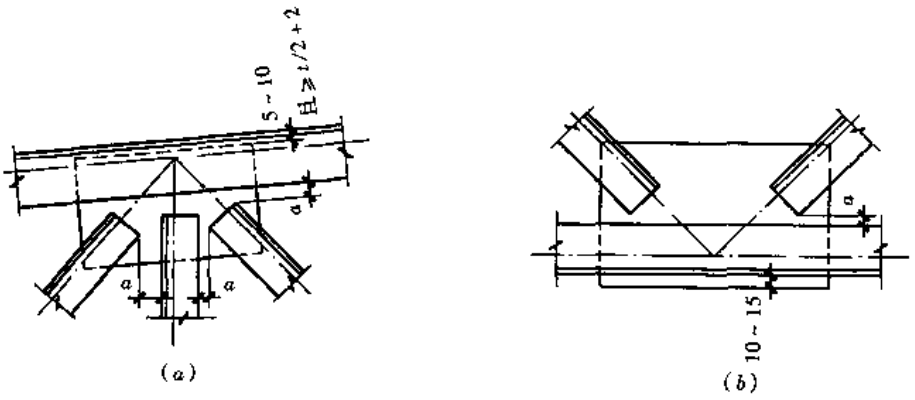


图7-46　节点板与杆件的连接构造

在焊接屋架节点处，腹杆与弦杆、腹杆与腹杆边缘之间的间隙 a 不小于20mm（图7-46），相邻角焊缝焊趾间净距应不小于5mm；屋架弦杆节点板一般伸出弦杆10～15mm（图7-46b）；有时为了支承屋面结构，屋架上弦节点板（厚度为 t）一般从弦杆缩进5～10mm，且不宜小于 $t/2+2$mm（图7-46a）。

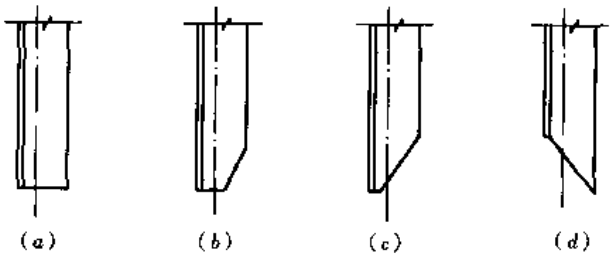


图7-47　角钢端部的切割

（4）角钢端部的切断面一般应与其轴线垂直（图7-47a）；当杆件较大，为使节点紧凑斜切时，应按图7-47b、c切肢尖，不允许采用图7-47d的切法。

（5）单斜杆与弦杆的连接应使之不出

现连接的偏心弯矩（图 7-48a）。节点板边缘与杆件轴线的夹角不应小于 15°（图 7-48a）。在单腹杆的连接处，应计算腹杆与弦杆之间节点板的强度（图 7-48a 的 1-1 剖面处）。

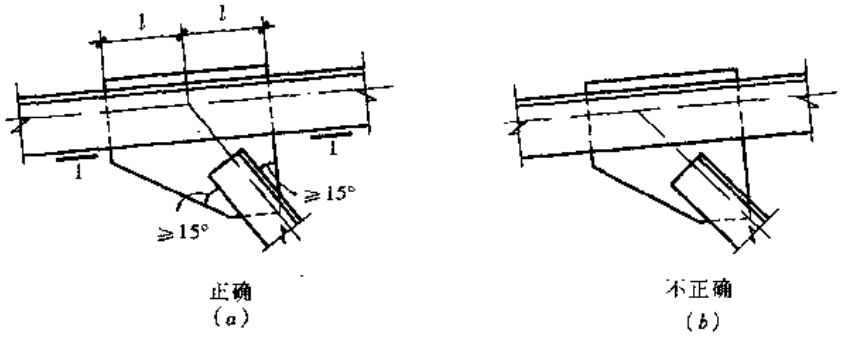


图 7-48 单斜杆的连接

（6）支承大型屋面板的上弦杆，当屋面节点荷载较大而角钢肢厚较薄，不满足表 7-8 的要求时，应对角钢的水平肢予以加强，见图 7-49。

弦杆不加强的每侧最大节点荷载（kN） 表 7-8

角钢厚度（mm），当钢材为	Q235	5	6	7	8	10	12	14	16	18	—
	Q345	—	5	6	7	8	10	12	14	16	18
支承处每侧集中荷载设计值（kN），当两板肋支承宽度为	65mm	6.3	8.4	11.0	14.0	20.5	28.8	39.9	—	—	—
	130mm	—	10.5	13.6	17.0	24.0	33.3	46.2	61.6	79.6	116.6

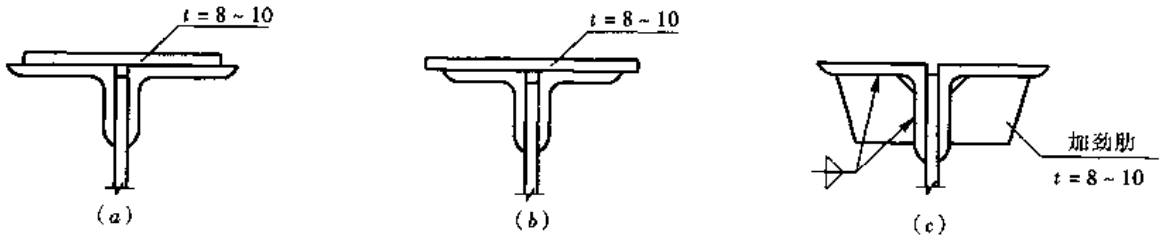


图 7-49 上弦角钢的加强

（7）角焊缝的最大、最小焊脚尺寸和长度应符合表 4-7 的规定。厚度为 5mm 的角钢，肢背的最大焊脚尺寸为 6mm，肢尖最大为 5mm；厚度为 4mm 的角钢，肢背的最大焊脚尺寸为 5mm，肢尖最大为 4mm。

2. 节点构造与计算

（1）腹杆与节点板的连接焊缝，应按表 4-5 的规定计算。

（2）无集中荷载作用的下弦中间节点，当弦杆无弯折时（图 7-50），弦杆与节点板的连接焊缝承受弦杆相邻节间内力之差 $\Delta N = N_1 - N_2$，其焊脚尺寸为

角钢肢背
$$h_{f1} \geqslant \frac{k_1 \Delta N}{2 \times 0.7 l_{w1} f_f^w} \tag{7-34}$$

角钢肢肢
$$h_{f2} \geqslant \frac{k_2 \Delta N}{2 \times 0.7 l_{w1} f_f^w} \tag{7-35}$$

式中 h_f——焊脚尺寸；

l_{w1}、l_{w2}——焊缝计算长度，等于实际长度减去 $2h_f$；

k_1、k_2——角钢肢背、肢尖内力分配系数，见表 4-6；

f_f^w——角焊缝强度设计值。

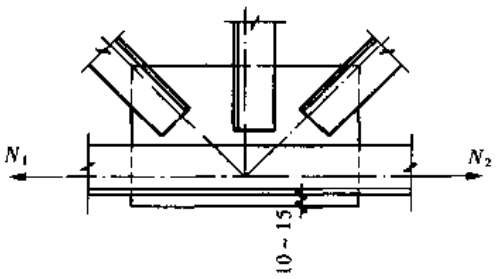


图 7-50　下弦中间节点连接构造

通常弦杆与节点板连接焊缝所需的焊脚尺寸很小，一般由构造确定。

(3) 支承大型屋面板或檩条的屋架上弦中间节点，为有集中荷载作用的节点。为放置集中荷载下的水平板或檩条，可采用节点板不向上伸出、部分向上伸出和全部伸出的做法，见图 7-51。

1) 图 7-51 (*a*) 为节点板不伸出的方案，此时节点板缩进上弦角钢肢背，采用槽焊缝焊接，于是节点板与上弦之间就由槽焊缝和角焊缝传力。节点板的缩进深度不宜小于 $(t_1/2+2)$ mm，也不宜大于 t_1，t_1 为节点板的厚度。

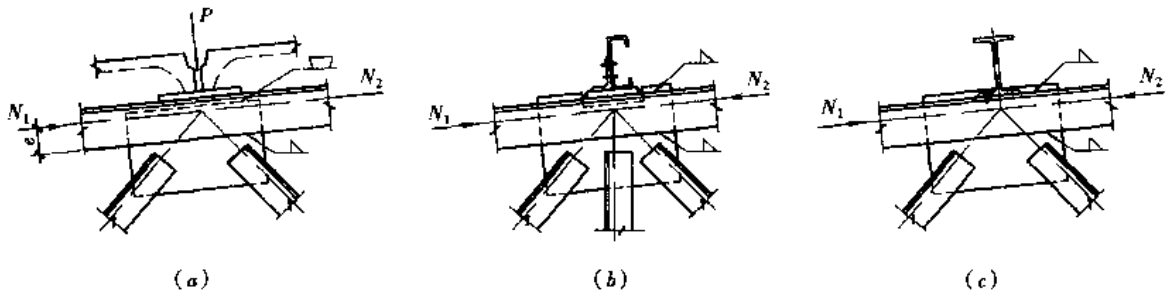


图 7-51　上弦中间节点连接构造

角钢肢背的槽焊缝假定只承受屋面集中荷载，其强度可近似按下列公式计算：

$$\sigma_f = \frac{P}{2\times 0.7 h_{f1} l_w} \leqslant f_f^w \tag{7-36}$$

式中　P——节点集中荷载（可取垂直于屋面的分力）；

h_{f1}——角钢肢背槽焊缝的焊脚尺寸，槽焊缝可视为两条 $h_{f1}=0.5t_1$ 的角焊缝；

l_w——角钢肢背槽焊缝的计算长度。

弦杆相邻节间的内力之差 $\Delta N = N_1 - N_2$，由角钢肢尖焊缝承受，计算时应考虑偏心引起的弯矩 $M = \Delta N \cdot e$（e 为角钢肢尖至弦杆轴线距离）。此时肢尖角焊缝的强度可按下列公式计算：

$$\sigma_f = \frac{6M}{2\times 0.7 h_{f2} l_w^2} \tag{7-37}$$

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2\times 0.7 h_{f2} l_w} \tag{7-38}$$

$$\sqrt{(\sigma_f/\beta_f)^2 + \tau_f^2} \leqslant f_f^w \tag{7-39}$$

式中　h_{f2}——角钢肢尖角焊缝的焊脚尺寸；

l_w——角钢肢尖角焊缝焊缝的计算长度；

β_f——正面角焊缝的强度设计值增大系数；对承受静力荷载和间接承受动力荷载的屋架 $\beta_f=1.22$，对直接承受动力荷载的屋架 $\beta_f=1.0$。

2）当节点板伸出不妨碍屋面构件的安放，或相邻弦杆节间内力差 ΔN 较大，肢尖角焊缝强度不足时，可采用节点板部分伸出或全部伸出的方案（图 7-51*b*、*c*）。此时弦杆与节点板的连接焊缝可按下列公式计算：

肢背焊缝
$$\sqrt{\frac{(k_1 \cdot \Delta N)^2 + (0.5P)^2}{2 \times 0.7 h_{f1} l_{w1}}} \leqslant f_f^w \tag{7-40}$$

肢尖焊缝
$$\sqrt{\frac{(k_2 \cdot \Delta N)^2 + (0.5P)^2}{2 \times 0.7 h_{f2} l_{w2}}} \leqslant f_f^w \tag{7-41}$$

式中 h_{f1}、l_{w1}——伸出肢背处的角焊缝焊脚尺寸和计算长度；

h_{f2}、l_{w2}——肢尖角焊缝的焊脚尺寸和计算长度。

（4）当角钢长度不足、弦杆截面有改变或屋架分单元运输时，弦杆经常要拼接。前两者为工厂拼接，拼接点通常在节点范围以外；后者为工地拼接，拼接点通常在节点。

1）图 7-52 为杆件在节点范围外的工厂拼接。

双角钢杆件采用拼接角钢拼接（图 7-52*a*），拼接角钢宜采用与弦杆相同的规格（弦杆截面改变时，与较小截面的弦杆相同），并切去竖肢及角背直角边棱。切肢 $\Delta = t + h_f + 5\text{mm}$ 以便施焊，其中 t 为拼接角钢肢厚，h_f 为角焊缝焊脚尺寸，5mm 为余量以避开肢尖圆角；切边棱是为使之与弦杆密贴。切去部分由填板补偿。

单角钢杆件宜采用拼接钢板拼接（图 7-52*b*），拼接钢板的截面面积不得小于角钢的截面面积。

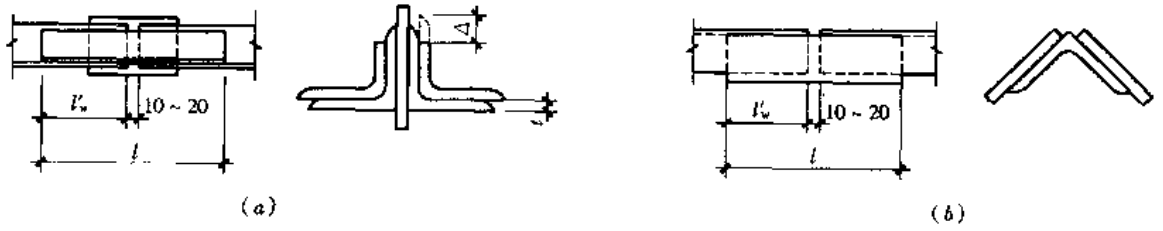


图 7-52 杆件在节点范围外的工厂拼接

（*a*）双角钢拼接；（*b*）单角钢拼接

拼接角钢或拼接钢板的长度，应根据所需焊缝的长度确定。接头一侧连接焊缝的实际长度 l'_w 为：

$$l'_w = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f \tag{7-42}$$

式中 N——杆件的轴心力；当采用等强拼接时，$N = Af$（A 为杆件的截面积）。

拼接角钢的长度一般为 $l = 2l'_w + (10 \sim 20)$ mm。

2）图 7-53 和图 7-54 为下弦和上弦在屋架中央的工地拼接节点。

屋架的工地拼接节点，通常不利用节点板作为拼接材料，而以拼接角钢传递弦杆内力。

弦杆与拼接角钢的焊缝按公式（7-40）计算，公式中 N 取节点两侧弦杆内力的较大值，所需拼接角钢长度同上 $l = 2l'_w + b$，b 为间隙，下弦节点一般取 $b = (10 \sim 20)$ mm。屋脊节点当竖直切割时 $b = (10 \sim 20)$ mm；当截面垂直上弦切割时所需间隙稍大，常取 $b = 50\text{mm}$ 左右。

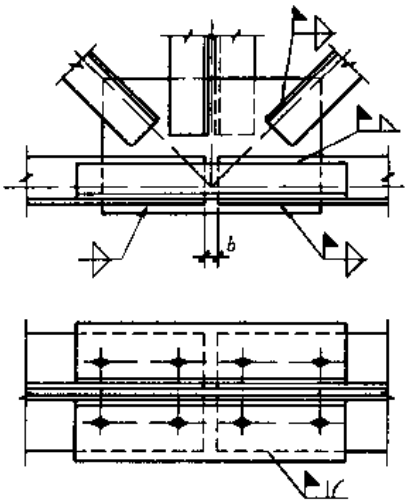


图 7-53　下弦拼接节点

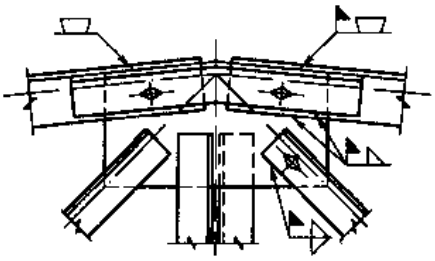
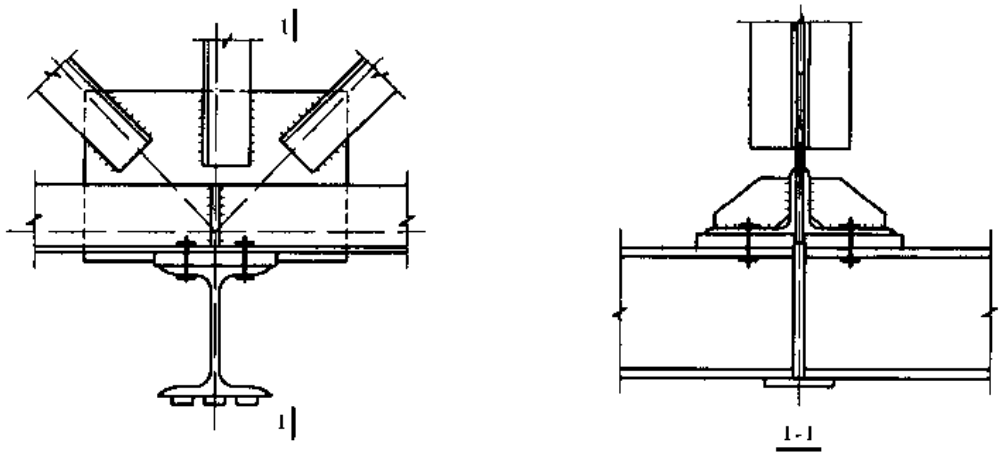
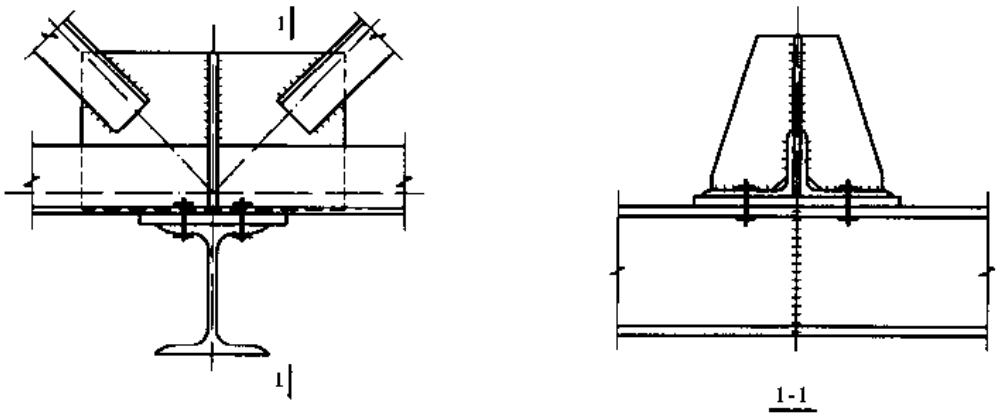


图 7-54　上弦拼接节点

弦杆与节点板的连接焊缝，应按公式（7-34）和公式（7-35）计算，公式中的 ΔN 取相邻节间内力之差和弦杆最大内力的 15% 中的较大值。当节点处有集中荷载时，则应采



(a)



(b)

图 7-55　有悬挂吊车的下弦节点

用上述的 ΔN 值和集中荷载 P 值按公式（7-40）和公式（7-41）计算。

屋脊节点的拼接角钢一般采用热弯形成；当屋面较陡需要弯折较大且角钢肢较宽不易弯折时，可将竖肢开口（钻孔，焰割）弯折后对焊，见图 7-54。

当为工地拼接时，为便于现场拼装，拼接节点要设置安装螺栓。因此，拼接角钢与节点板应焊于不同的运输单元，以避免拼装中双插的困难。也有将拼接角钢单个运输，拼装时用安装焊缝焊于两侧。

（5）图 7-55 为屋架下弦有悬挂吊车或单梁轨道梁的节点。其中图 7-55b 的节点板缩进下弦角钢；图 7-55a 的节点板部分缩进下弦角钢。

（6）节点板计算

1）连接节点处板件在拉、剪作用下的强度应按下式计算：

$$\frac{N}{\Sigma(\eta_i A_i)} \leqslant f \tag{7-43}$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2\cos^2 \alpha_i}} \tag{7-44}$$

式中 N——作用于板件的拉力；

A_i——第 i 段破坏面的截面积，$A_i = tl_i$；

t——板件厚度；

l_i——第 i 段破坏段的长度，应取板件中最危险破坏线的长度（图 7-56）；

η_i——第 i 段的抗剪折算系数；

α_i——第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角。

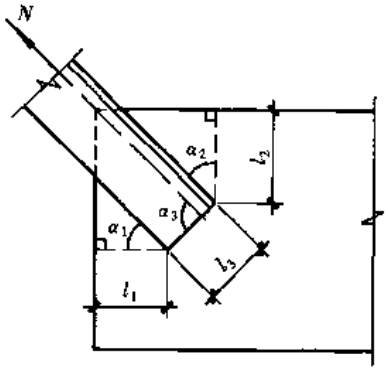


图 7-56 板件的拉、剪撕裂

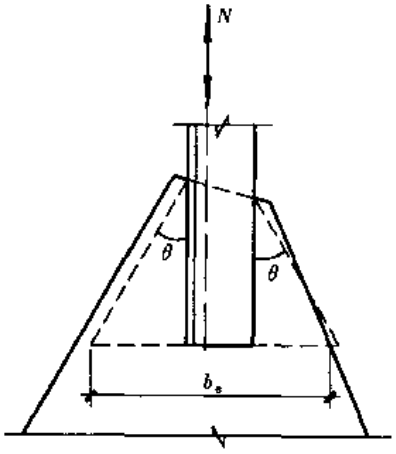


图 7-57 板件的有效宽度

2）节点板的强度除可按公式（7-43）计算外，也可用有效宽度法按下式计算：

$$\sigma = \frac{N}{b_e t} \leqslant f \tag{7-45}$$

式中 b_e——板件的有效宽度（图 7-57），图中 θ 为应力扩散角，可取 30°。

3）节点板在斜腹杆压力作用下的稳定可用下列方法进行计算。

A. 对有竖腹杆相连的节点板，当 $c/t \leqslant 15\sqrt{235/f_y}$ 时（c 为受压腹杆连接肢端面中点沿腹杆轴线方向至弦杆的净距离，见图 7-58），可不计算稳定。否则应按以下进行稳定计

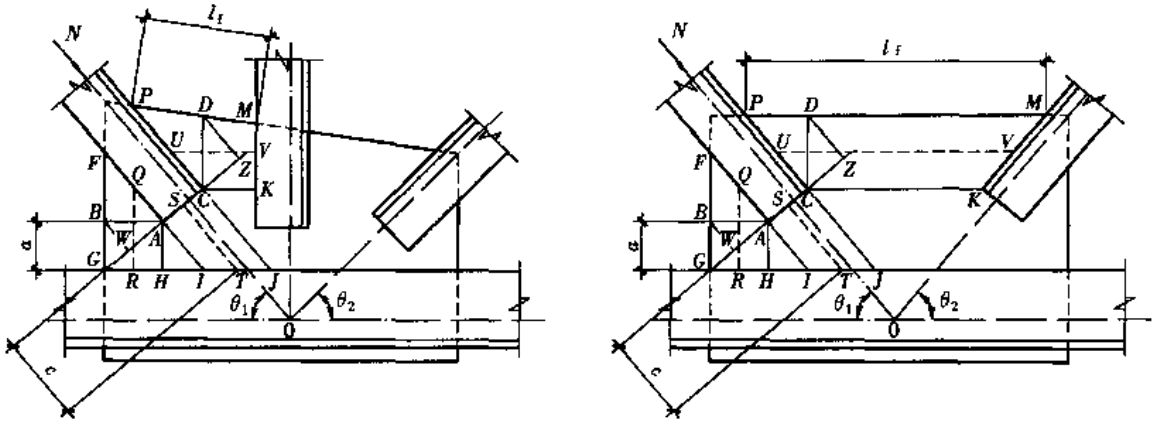
算。在任何情况下，c/t 不得大于 $22\sqrt{235/f_y}$。

B. 对无竖腹杆相连的节点板，当 $c/t \leqslant 10\sqrt{235/f_y}$ 时，节点板的稳定承载力可取为 $0.8b_e tf$。当 $c/t > 10\sqrt{235/f_y}$ 时，应按以下进行稳定计算，但在任何情况下，c/t 不得大于 $17.5\sqrt{235/f_y}$。

C. 节点板在斜腹杆压力作用下稳定计算的基本假定为：

（A）图 7-58 中 *B-A-C-D* 为节点板失稳时的屈折线，其中 $\overline{BA}$ 平行于弦杆，$\overline{CD} \perp \overline{BA}$；

（B）在斜腹杆轴向压力 N 的作用下，*BA* 区（*FBGHA* 板件），*AC* 区（*AIJC* 板件）和 *CD* 区（*CKMP* 板件）同时受压，当其中某一区先失稳后，其他区即相继失稳，为此要分别计算各区的稳定。



（a）　　（b）

图 7-58　节点板稳定计算简图

（a）有竖杆时；（b）无竖杆时

各区的稳定可分别按以下公式计算：

BA 区：

$$\frac{b_1}{(b_1 + b_2 + b_3)} N\sin\theta_1 \leqslant l_1 t\varphi_1 f \tag{7-46}$$

AC 区：

$$\frac{b_2}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \leqslant l_2 t\varphi_2 f \tag{7-47}$$

CD 区：

$$\frac{b_3}{(b_1 + b_2 + b_3)} N\cos\theta_1 \leqslant l_3 t\varphi_3 f \tag{7-48}$$

式中　t——节点板厚度；

N——受压斜腹杆的轴向力；

l_1、l_2、l_3——屈折线 $\overline{BA}$、$\overline{AC}$ 和 $\overline{CD}$ 的长度；

φ_1、φ_2、φ_3——各受压区板件的轴心受压稳定系数，可按 b 类截面查取；其相应的长细比分别为：$\lambda_1 = 2.77\dfrac{\overline{QR}}{t}$，$\lambda_2 = 2.77\dfrac{\overline{ST}}{t}$，$\lambda_3 = 2.77\dfrac{\overline{UV}}{t}$；

$\overline{QR}$、$\overline{ST}$、$\overline{UV}$——为 BA、AC 和 CD 三区受压板件的中线长度；其中 $\overline{ST}=c$；

b_1（$\overline{WA}$）、b_2（$\overline{AC}$）、b_3（$\overline{CZ}$）——各屈折线段在有效宽度线上的投影长度。

对 $l_f/t>60\sqrt{235/f_y}$ 且沿自由边无加劲的无竖斜腹杆节点板（l_f 为节点板自由边的长度），亦可用上述方法进行计算，只是仅需验算 $\overline{BA}$ 区和 $\overline{AC}$，而不必验算 $\overline{CD}$ 区。

4）当用以上方法计算节点板时，尚应满足下列要求：

A. 节点板边缘与腹杆轴线之间的夹角应不小于 15°；

B. 斜腹杆与弦杆的夹角应在 30°至 60°之间；

C. 节点板的自由边长度 l_f 与厚度 t 之比不得大于 $60\sqrt{235/f_y}$，否则应沿自由边设加劲肋予以加强。

（7）屋架铰接支座节点

支承于混凝土柱或砌体柱的屋架，其支座节点通常设计为铰接。图 7-59 为铰接支承的梯形屋架和三角形屋架的支座节点。

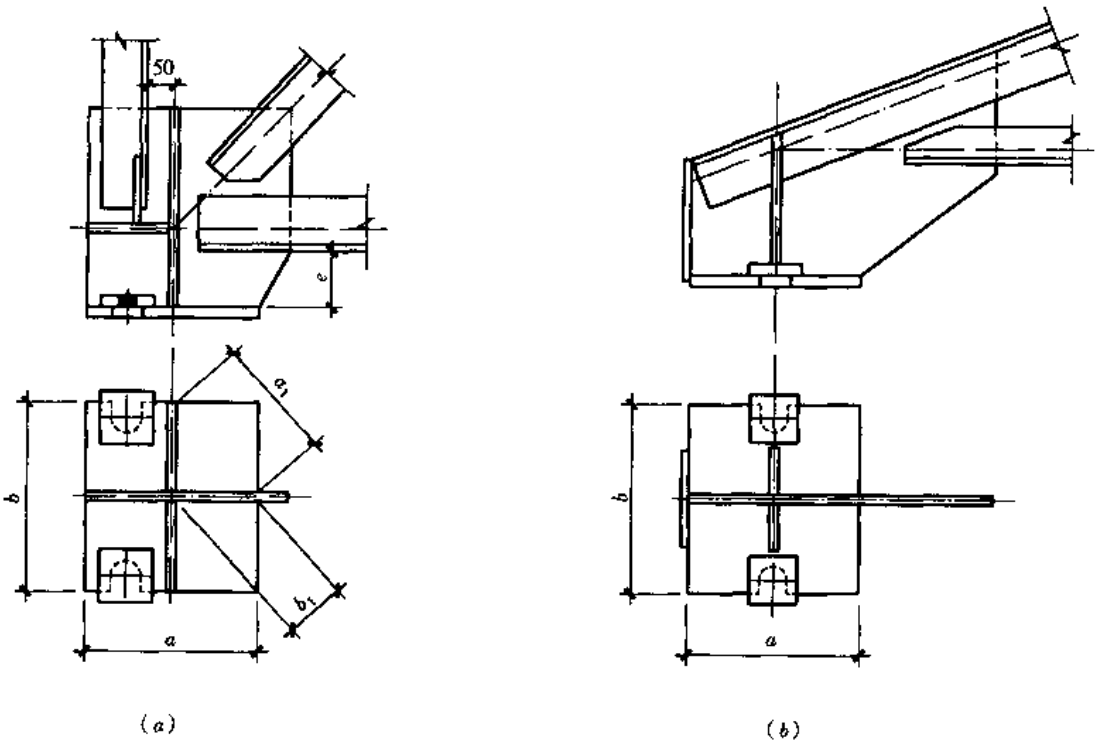


图 7-59 屋架铰接支座节点

屋架支座节点处各杆件汇交于一点，屋架杆件合力（竖向）作用点位于底板中心，合力通过矩形底板以分布力的形式传给下部结构。为保证底板的刚度、力的传递以及节点板平面外刚度的需要，支座节点处应对称设置加劲板，加劲板的厚度取等于或略小于节点板的厚度，加劲板厚度的中线应与各杆件合力线重合。

为便于施焊，下弦角钢背与底板间的距离 e 一般应不小于下弦伸出肢的宽度，且不小于 130mm；梯形屋架端竖杆角钢肢朝外时，角钢边缘与加劲板中线距离不宜小于 50mm。底板通过钢筋混凝土柱顶预埋的锚栓固定，锚栓设在底板靠柱轴线的外侧区格。为便于屋

架安装就位及固定牢靠，底板上应有较大的锚栓孔，就位后再将套进锚栓的垫板焊于底板上。锚栓直径 d 一般为 18～24mm，底板上的锚栓孔常用 U 形孔，孔径为（2～2.5）d，垫板上的孔径取 $d+$（1～2）mm。底板边长应取 10mm 的整倍数，锚栓与节点板、加劲板中线之间的最小距离应便于锚栓操作定位。

支座节点的计算，包括底板面积及厚度、节点板与加劲板的竖焊缝以及节点板、加劲板与底板的水平焊缝三个部分。

1）底板面积及厚度

底板面积按下式计算

$$A = a \times b \geqslant \frac{R}{\beta_l f_c} + A_0 \tag{7-49}$$

式中　R——支座反力；

β_l——混凝土局部承压时的提高系数，见 GB50010—2002；

f_c——支座混凝土轴心抗压强度设计值，见 GB50010—2002；

A_0——锚栓孔的面积。

通常按计算需要的底板面积较小，底板的平面尺寸主要根据构造要求确定，参见表 7-9。

屋架支座底板和锚栓尺寸选用表（mm）　　表 7-9

支座反力（kN）		130	260	390	520	650	780	810
底板平面尺寸	C20 及以上	250×（220～250）	300×（220～300）	300×（220～300）	350×（220～350）	350×（250～350）	350×（250～250）	350×（300～350）
底板厚度	Q235	16	20	20	20	24	24	26
	Q345	16	16	20	20	20	20	22
焊缝的焊脚尺寸		6	6	7	8	8	10	10
锚栓直径 M		20	20	20	24	24	24	24
底板上的锚栓孔径 d		50	50	50	60	60	60	60

底板的厚度按均布荷载下板的抗弯强度计算。支座底板被节点板与加劲板分隔为两相邻边支承的四块板，其单位宽度的最大弯矩为：

$$M = \beta q a_1^2 \tag{7-50}$$

式中　q——底板下反力的平均值，$q = R/(A - A_0)$；

β——系数，由 b_1/a_1 值按表 7-10 查出；

a_1、b_1——对角线长度和底板中点至对角线的距离（图 7-59a）；对三边支承板 a_1 为自由边长，b_1 为与自由边垂直的支承边长。

三边支承板及两相邻边支承板的弯矩系数 β 值　　表 7-10

b_1/a_1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
β	0.027	0.044	0.060	0.075	0.087	0.097	0.105	0.112	0.121	0.126

支座底板的厚度为：

$$t \geqslant \sqrt{\frac{6M}{f}} \tag{7-51}$$

为使混凝土均匀受压，底板不宜太薄，一般 $t \geqslant 16\text{mm}$。

2）加劲肋的厚度可取等于或略小于节点板的厚度。通常假定一个加劲肋传递支座反力的 1/4，加劲肋与节点板的连接焊缝按下式计算：

$$\sqrt{\left(\frac{V}{2\times 0.7h_f l_w}\right)^2+\left(\frac{6M}{2\times 0.7\beta_f h_f l_w^2}\right)^2}\leqslant f_f^w \tag{7-52}$$

式中 V——焊缝所受的剪力，即 $V=R/4$；

M——偏心弯矩，$M=Vb/4=Rb/16$。

3）屋架支座节点板和垂直加劲肋与支座底板连接的水平连接焊缝，一般采用角焊缝，焊缝强度按下式计算：

$$\sigma_f=\frac{R}{0.7h_f\Sigma l_w}\leqslant \beta_f f_f^w \tag{7-53}$$

式中 Σl_w——节点板、加劲肋与支座底板连接焊缝计算长度之和；

β_f——正面角焊缝的强度增大系数：承受静力荷载和间接承受动力荷载时 $\beta_f=1.22$；直接承受动力荷载时 $\beta_f=1.0$。

（8）屋架刚接支座节点

在全钢结构的房屋中，屋架与柱的连接有时设计成刚性连接；此时支座节点不仅承受屋架的竖向支座反力，还要承受屋架作为框架横梁的支座弯矩和水平力，见图 7-41。为使支座节点板不致过大，屋架弦杆和斜腹杆的轴线一般汇交于柱的内边缘。

1）图 7-60 为采用安装焊缝加支托的刚接支座节点，其中图 7-60（a）的支座斜腹杆为上升式，图 7-60（b）的支座斜腹杆为下降式。安装时屋架端节点板与焊在柱翼缘上的竖直角钢相靠，在节点板另一侧加竖直肋板，屋架就位后再焊三条竖焊缝，竖直角钢下的短角钢为安装支托。上弦节点一般另加盖板连接。

在图 7-60（a）的连接中，下弦节点的竖直焊缝“a”和“b”应按下式计算：

$$\sqrt{\left(\frac{R}{2\times 0.7h_f l_w}\right)^2+\left(\frac{H}{2\times 0.7h_f l_w\beta_f}+\frac{6M}{2\times 0.7h_f l_w^2\beta_f}\right)^2}\leqslant 0.9f_f^w \tag{7-54}$$

对焊缝“a”，

$$M=Re_2\pm He_1 \tag{7-55}$$

对焊缝“b”，

$$M=He_1 \tag{7-56}$$

式中 R——屋架支座的竖向反力；

H——下弦节点处的最大水平力，在公式（7-55）中，当 H 为拉力时取正号，压力时取负号；在公式（7-56）中，H 为拉、压力的绝对最大值；

e_1——水平力 H 作用线（屋架下弦杆轴线）至焊缝“a”中心线的距离；

e_2——柱边缘至焊缝“a”的距离；

f_f^w——焊缝的强度设计值，0.9 为考虑高空施焊的折减系数。

在图 7-60（a）中的上弦节点处，连接盖板的截面尺寸及其与柱顶板和屋架上弦杆的连接角焊缝，通常可近似按承受上弦节点处最大水平力（不考虑偏心）计算。连接盖板的厚度一般为 8～14mm，连接角焊缝的焊脚尺寸为 6～10mm。

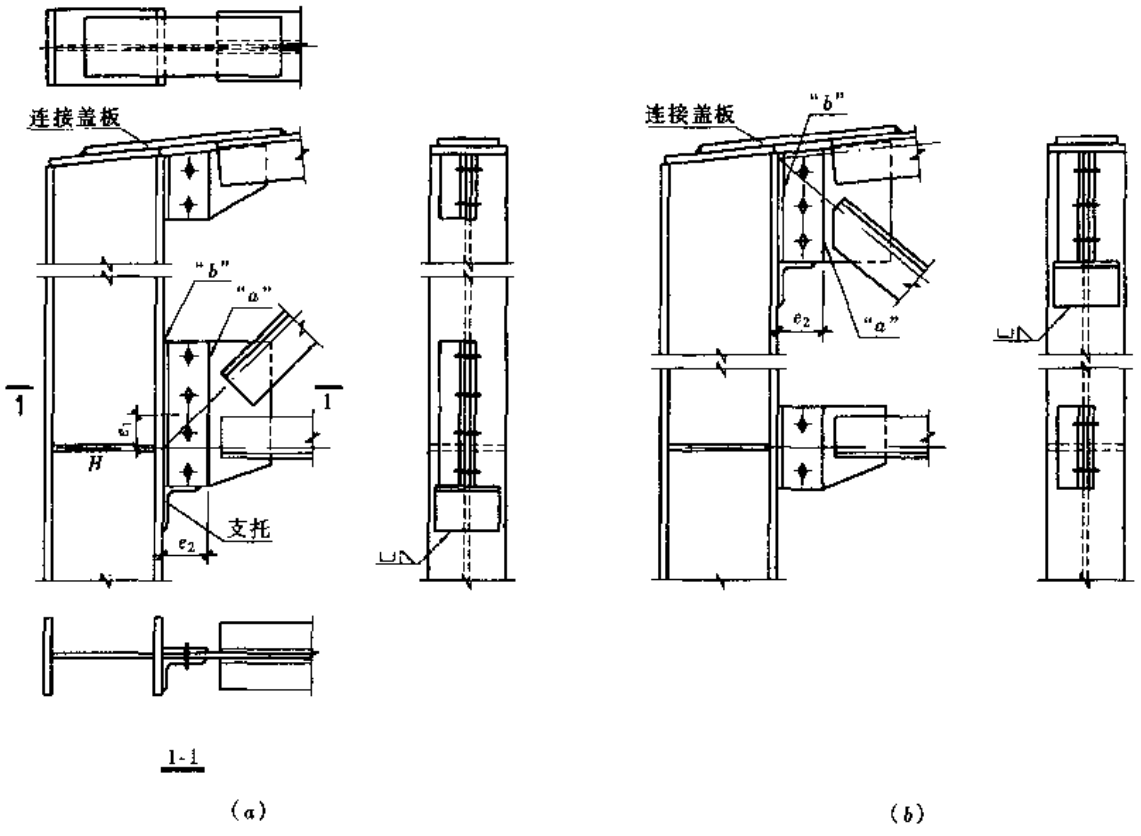


图 7-60　采用安装焊缝的刚接支座节点

在图 7-60（b）中的连接中，上弦节点连接盖板的截面尺寸及其与柱顶板和屋架上弦杆的连接角焊缝，亦可近似按承受上弦节点最大水平力计算；竖直焊缝“a”承受支座竖向反力 R 和弯矩 $M = Re_2$，按公式（7-54）计算，竖直焊缝“b”只承受竖向反力 R。下弦支承节点的竖直焊缝按承受屋架下弦端节间的最大轴向力确定。

2）图 7-61 为采用普通 C 级螺栓加承力支托的刚接支座节点。

在屋架下弦支承节点处，与柱相连所用的普通螺栓一般成对配置，且不宜小于 6M20。此时边行受力最大的一个螺栓所受的拉力按下式计算：

$$N_{max} = \frac{H}{n} + \frac{He_1 y_1}{2\Sigma y_i^2} \leqslant N_t^b \quad (7\text{-}57)$$

式中　n——螺栓总数；

H——螺栓承受的水平拉力；

e_1——H 作用线（屋架下弦杆轴线）至螺栓群形心的距离；

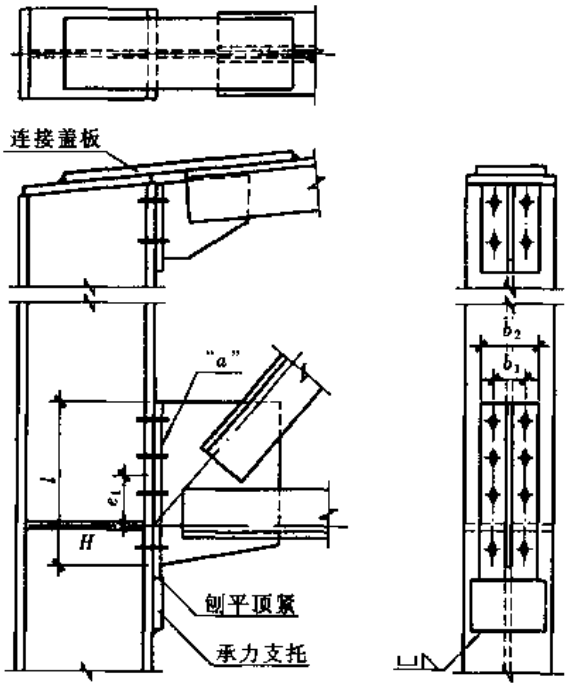


图 7-61　采用普通螺栓和承力支托的刚接支座节点

y_1——中和轴（假定在螺栓群形心处）至最下排螺栓的距离；

Σy_i^2——中和轴至各排螺栓距离的平方和；

N_t^b——螺栓的受拉承载力设计值。

下弦节点处与柱相连的支承连接板（竖直端板）的厚度 t 应同时符合下列公式的要求：

$$t \geqslant \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3N_{max}b_1}{l \cdot f}} \quad \text{且不小于 } 20\text{mm} \tag{7-58}$$

$$t \geqslant \frac{R}{b_2 f_{ce}} \tag{7-59}$$

式中 N_{max}——一个螺栓所承受的最大拉力；

b_1——两列螺栓的间距；

l——支承连接板与支座节点板的连接长度；

b_2——支承连接板的宽度，可按配置连接螺栓的构造要求确定，通常取 200mm；

f——钢材的抗拉强度设计值；

f_{ce}——钢材的端面承压设计值。

支承连接板与支座节点板的连接焊缝“a”，承受竖向反力 R、最大水平力 H（拉力或压力）以及偏心弯矩 $M = He_1$（e_1 为水平力 H 作用线至焊缝“a”中心线的距离），应按公式（7-54）计算。

焊于柱上的承力支托一般采用厚度为 30～40mm 钢板制成，其宽度取屋架支承连接板宽度加 50～60mm，高度不应小于 140mm。当支座竖向反力较小时（$R < 400$kN），可采用不小于 L140×14 或 L140×90×14 的角钢并切去部分水平肢作成。支托与柱的连接通常采用三面围焊，焊脚尺寸一般不应小于 8mm，可按下式计算：

$$\tau = \frac{1.3R}{0.7h_f\Sigma l_w} \leqslant f_f^w \tag{7-60}$$

3）图 7-62 为利用柱顶设置切口台阶形成上承式屋架的刚性连接，这种支承形式适用于杜截面高度较大的场合。

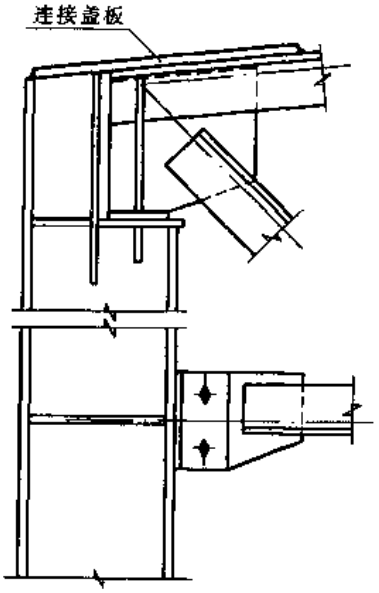


图 7-62 上承式屋架刚接节点

7.2.6 钢管屋架连接节点和计算

1. 基本要求

（1）钢管屋架的节点通常不用节点板，而将杆件直接汇交焊接（图 7-63a、b）即顶接，构造简单，制作方便。支管端部宜使用自动切割机切割，支管壁厚小于 6mm 时可不切坡口。钢管屋架杆件端部应进行焊接封闭，以防管内锈蚀。

当方钢管屋架节点需要加强时，可采用通过垫板焊接的连接节点（图 7-69c）。

（2）各杆件截面重心轴线应汇交于节点中心，尽可能避免偏心。若支管与主管连接节点偏心不超过公式（7-61）限制时，在计算节点和受拉主管承载力时，可忽略因偏心引起

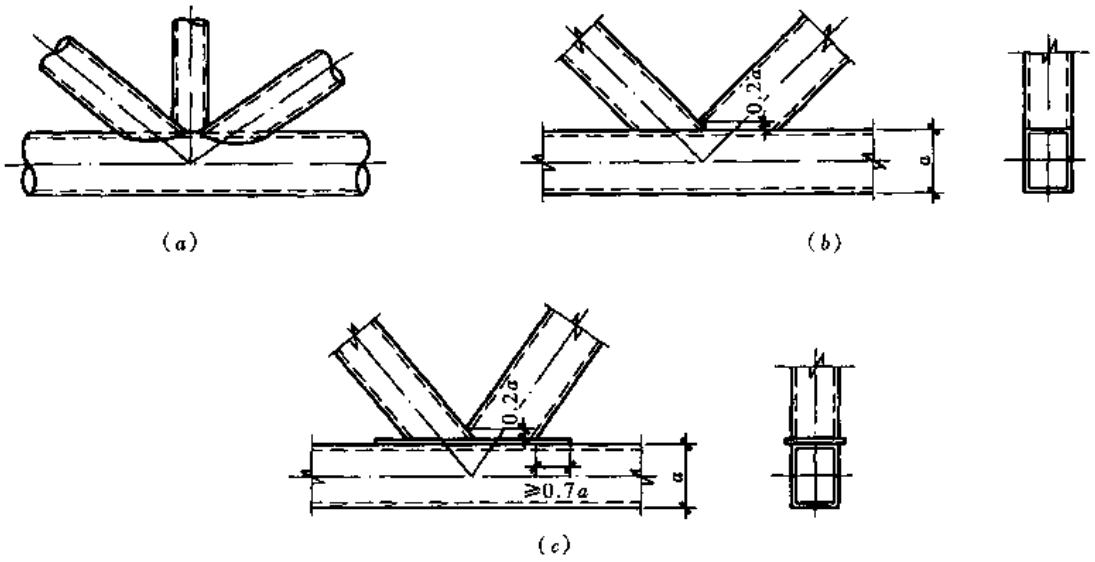


图 7-63　钢管屋架节点

的弯矩影响，但受压主管必须考虑此偏心弯矩 $M = \Delta N \times e$（ΔN 为节点两侧主管轴力之差值）。

$$-0.55 \leqslant \frac{e}{h} \text{ 或 } \frac{e}{d} \leqslant 0.25 \tag{7-61}$$

式中　e——偏心距，如图 7-64 所示；

d——圆主管外径；

h——连接平面内的矩形主管高度。

（3）主管的外部尺寸不应小于支管的外部尺寸，主管的壁厚不应小于支管的壁厚，在支管与主管连接处不得将支管插入主管内。支管与主管或两支管轴线之间的夹角不宜小于 30°。

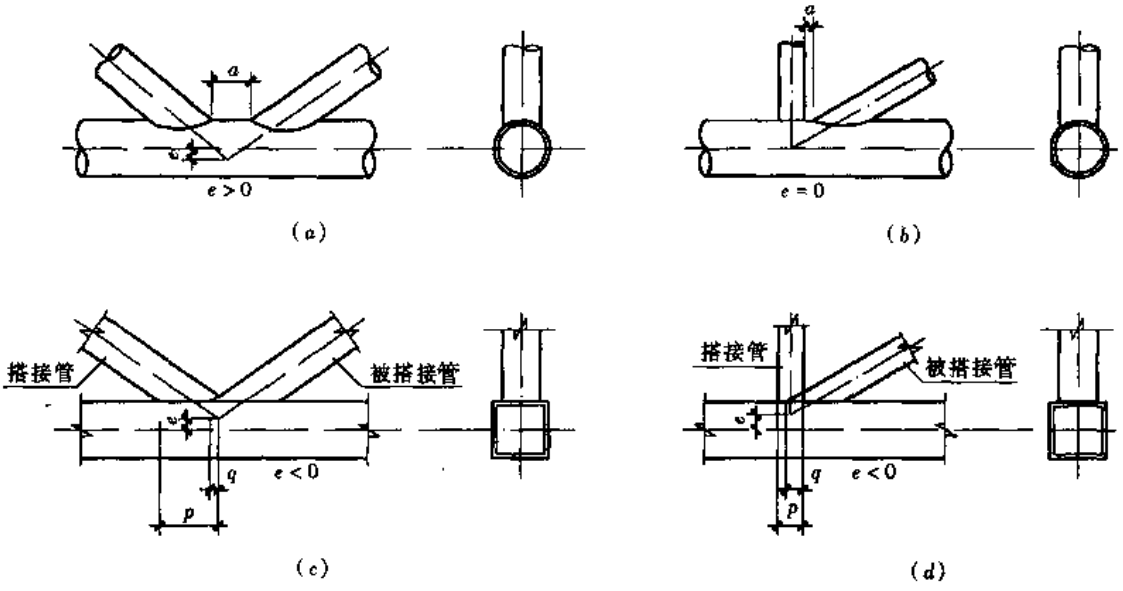


图 7-64　K 型和 N 型管节点的偏心和间隙

（a）、（b）有间隙的节点；（c）、（d）搭接的节点

（4）对有间隙的K型或N型节点（图7-64*a*、*b*），支管间隙 *a* 应不小于两支管壁厚之和。

（5）对搭接的K型或N型节点（图7-64*c*、*d*），当支管厚度不同时，薄壁管应搭在厚壁管上；当支管钢材强度等级不同时，低强度管应搭在高强度管上。搭接节点的搭接率 $O_v=(q/p)\times 100\%$ 应满足 $25\%\leqslant O_v\leqslant 100\%$，且应确保在搭接部分的支管之间的连接焊缝能很好地传递内力。

（6）支管与主管的连接焊缝，应沿全周连续焊接并平滑过渡，可全部用角焊缝或部分采用对接焊缝、部分采用角焊缝。支管管壁与主管管壁之间的夹角大于或等于120°时的区域宜用对接焊缝或带坡口的角焊缝。角焊缝的焊脚尺寸 h_f 不宜大于支管壁厚的2倍。

（7）钢管构件在承受较大横向荷载的部位应采取适当的加强措施，防止产生过大的局部变形。构件的主要受力部位应避免开孔，如必须开孔时，应采取适当的补强措施。

（8）若钢管屋架上弦节点荷载较大，须设垫板加强（图7-65）。加强垫板应保证钢管屋架上弦的局部刚度及屋面材料有足够的支承长度，厚度不宜小于8mm。若方钢管屋架上弦较宽，垫板可直接焊于弦杆上（图7-65*a*），当其外伸尺寸较大时，宜设加劲肋（图7-65*b*）；圆钢管屋架上弦的加强垫板通过加劲肋与圆钢管相连（图7-65*c*）。

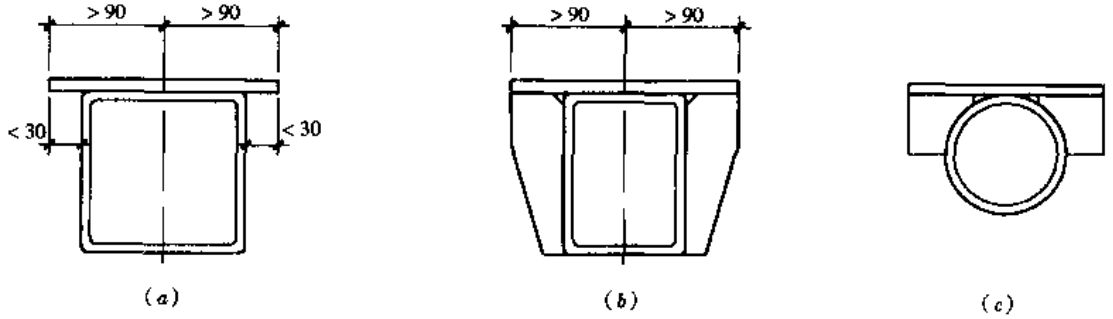


图7-65 屋架上弦的加强

2. 连接节点

（1）钢管屋架弦杆与腹杆中间节点的连接构造应根据杆件内力、相对尺寸及弦杆厚度等因素确定。

若腹杆内力较小，腹杆与弦杆可直接顶接，如图7-66（*a*）、（*d*）所示。腹杆内力较大时，腹杆与弦杆宜采用以垫板加强的顶接连接，如图7-66（*b*）、（*e*）所示。垫板厚度一般不小于6mm。当腹杆与弦杆边缘间的距离大于30mm时，宜在腹杆上设加劲肋加强（图7-66*c*）。为了加强节点刚度也可在弦杆两边布置加强板（图7-66*f*）。

腹杆在弦杆处交错连接时，应使较大腹杆与弦杆（或垫板）直接连接，较小腹杆可切角与较大腹杆和弦杆顶接。斜腹杆与竖杆连接时，可加设竖向垫板过渡，如图7-66（*d*）、（*e*）所示。

（2）圆钢管屋架的腹杆与弦杆的连接一般采用直接顶接，杆件端部经仿形机加工或精密切割成弧形剖口，以使腹杆与弦杆在相关面上紧密贴合，接触面的空隙不宜大于2mm，以确保焊接质量。

圆钢管屋架弦杆与腹杆直接顶接的节点构造见图7-67（*a*）、（*b*）。一般应使较大腹杆与弦杆直接顶接，较小腹杆除与弦杆连接外，尚可能与其他腹杆相连，其端部应加工成相

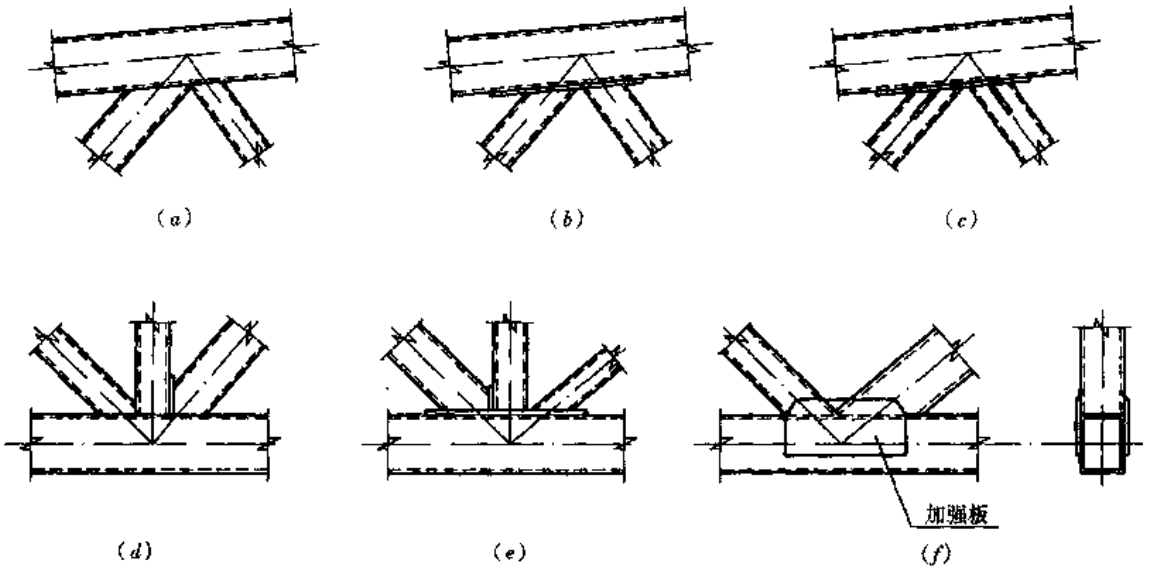


图 7-66　方钢管屋架中间节点

关面以确保弦杆与较大腹杆紧密贴合。图 7-67（a）中上弦杆上表面的平板是为放置檩条或屋面板而设置，平板通过加劲肋与圆钢管相连。

圆钢管屋架可采用插接，即采用节点板连接（图 7-67c），连接需要剖开钢管，以使节点板插入。图 7-67（d）为将钢管敲扁直接连接的形式，该节点刚度较小，仅适用于中小跨度的屋架。

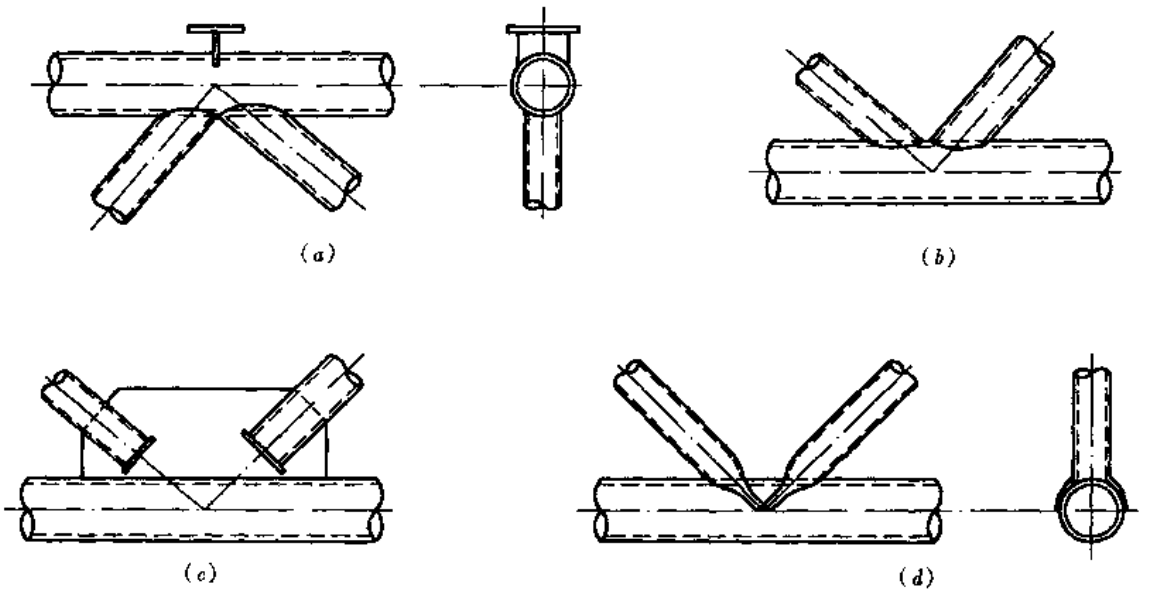
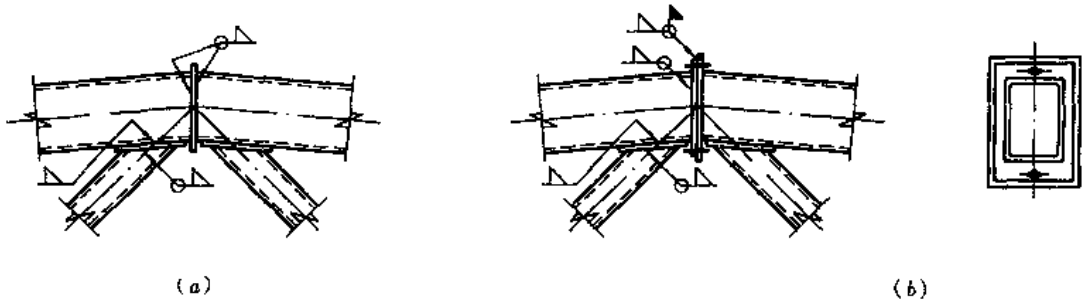


图 7-67　圆管屋架中间节点

(3) 钢管屋架的屋脊节点可采用顶接或螺栓连接（图 7-68）。

图 7-68（a）适用于跨度较小、整榀制作的屋架，该节点构造简单、施工方便。

当屋架跨度较大时，宜在屋脊处分段制作，工地拼装，如图 7-68（b）所示。顶接板有大、小两块，尺寸按构造确定，大板的长、宽通常比小板大 20～30mm，以便施焊。若



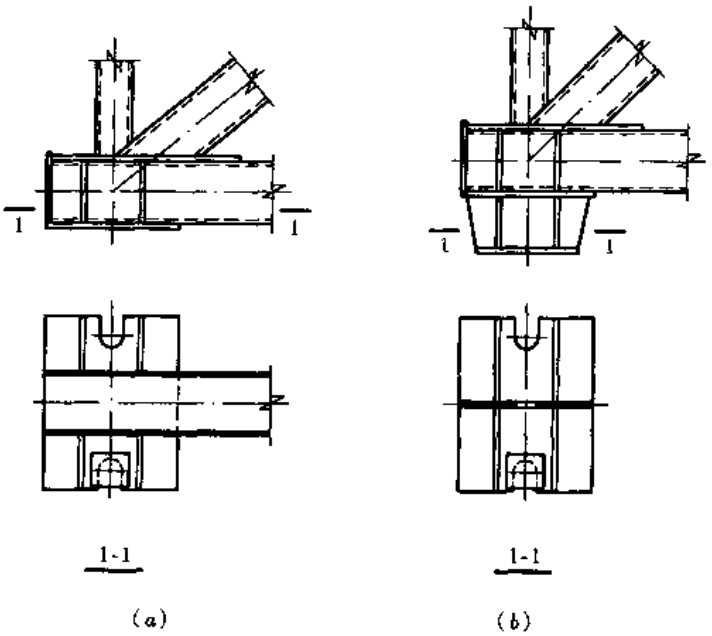
(a) (b)

图 7-68 屋脊节点

屋架设有中央竖杆，则应加长顶接板以连接竖杆。顶接板的厚度不宜小于 10mm。

(4) 常用支座节点有顶接式和插接式两种。

图 7-69 为顶接式支座节点的两种形式。图 7-69 (*a*) 中屋架支座底板可直接搁置于柱



(a) (b)

图 7-69 顶接式屋架支座节点

顶，适用于跨度较小、下弦杆不加高的情况，构造简单，受力明确，节省材料。图 7-69 (*b*) 为加高下弦与柱顶的连接，这种支座节点适应性较强，但耗钢量较多；图中加劲肋和垫板的厚度均不得小于 8mm。

图 7-70 为开口插接式支座节点，其中杆件的连接强度取决于节点板与弦杆间的连接焊缝。

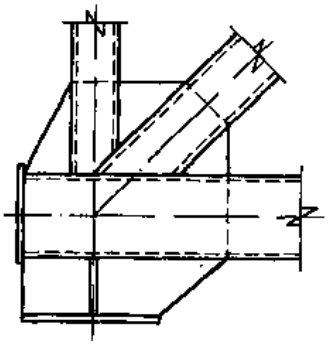


图 7-70 插接式屋架支座节点

屋架支座底板上锚固螺栓及垫板设置与角钢屋架相同。

(5) 当材料长度不足或弦杆截面有改变，以及屋架分单元运输时弦杆经常要拼接。拼接点宜设在内力较小的节间；工地拼接点通常在节点。

1) 受拉构件的拼接接头，一般采用内衬垫板或衬管的单面焊接（图 7-71）。接头与杆件按等强度设计。

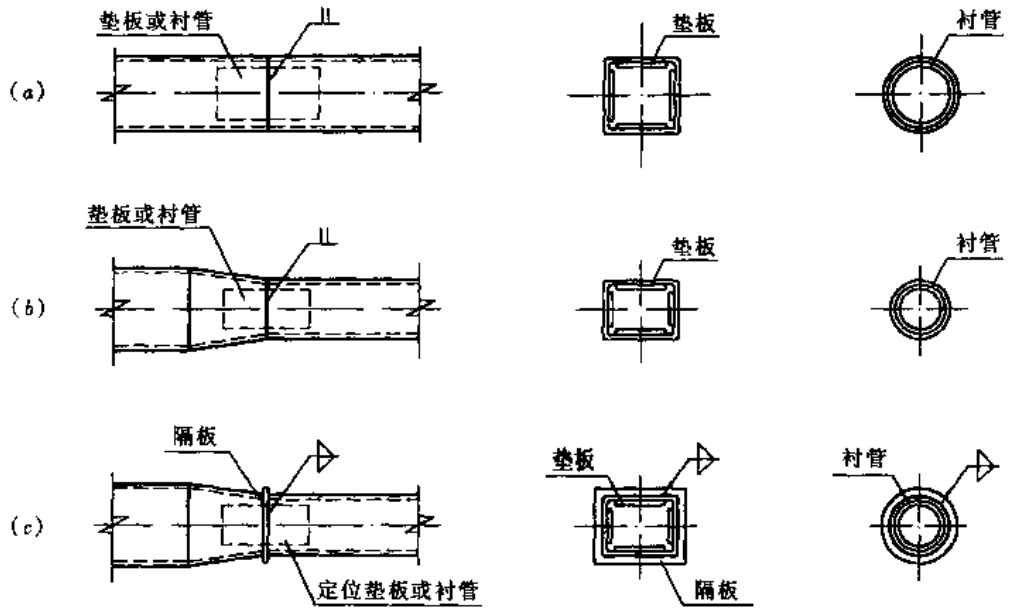


图 7-71　有内衬的单面焊接接头

2）受压构件的拼接接头，一般采用隔板焊接（图 7-72）。杆件端部与隔板顶紧，隔板两侧杆件的纵轴线应位于同一直线上。

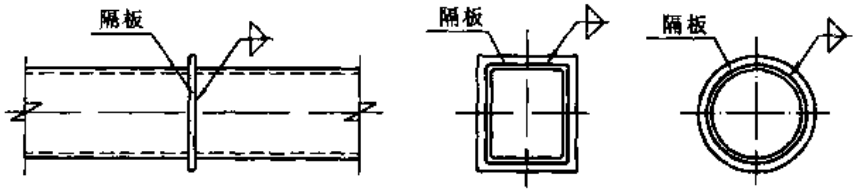


图 7-72　直隔板焊接接头

若屋架受压杆件采用图 7-72 所示直隔板焊接接头的强度不能满足时，可采用斜隔板顶接接头（图 7-73），以增加连接焊缝长度，斜隔板与杆件纵轴线的交角不宜小于 45°，隔板厚度不得小于 6mm。

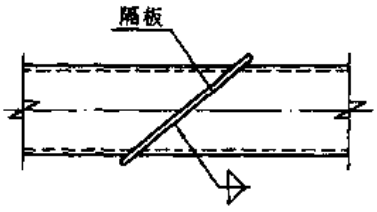


图 7-73　斜隔板焊接接头

当承受节间弯矩的受压弦杆截面上出现拉应力时，宜采用图 7-71（c）的接头形式，同时设隔板、垫板或衬管，连接焊缝由计算确定。

3）因制造、运输条件所限，屋架需分段制作、工地拼装时，拼装节点的位置和接头形式均需在屋架施工图中详细说明。工地拼装节点处应设定位螺栓，如图 7-68*b* 所示，以利工地定位、拼装。

屋架杆件工地拼接节点如图 7-74。拼装接头可采用焊接（图 7-74*a*、*b*）、螺栓（包括高强度螺栓）连接（图 7-74*c*）或焊接、栓接的混合连接（图 7-74*d*）。

采用螺栓连接（或高强度螺栓）的拼装接头（图 7-74*c*），不需要工地焊接，施工方便，能保证质量。通常拼接螺栓数不得少于 4 个，栓径不得小于 12mm，顶接板的厚度不

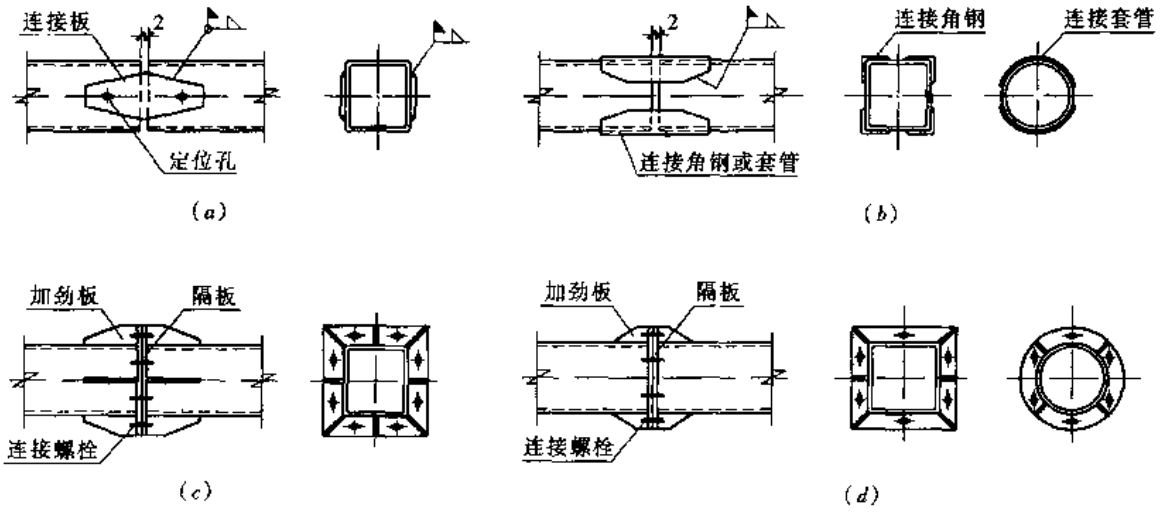


图 7-74 工地拼接节点

宜小于 12mm。

3. 节点计算

(1) 直接焊接钢管结构中支管和主管的轴向内力设计值不应超过由第 3 章确定的杆件承载力设计值。支管的轴向内力设计值亦不应超过节点承载力设计值。

(2) 在节点处，支管沿周边与主管相焊，焊缝承载力应等于或大于节点承载力。

支管与主管的连接焊缝可视为全周角焊缝按表 4-3 进行计算，但取 $\beta_f = 1$。角焊缝的计算厚度沿支管周长是变化的，当支管轴心受力时，平均计算厚度可取 $0.7h_f$。焊缝的计算长度可按下列公式计算：

在圆管结构中取支管与主管相交线长度，

$$\text{当 } d_i/d \leqslant 0.65 \text{ 时} \quad l_w = (3.25d_i - 0.025d)\left(\frac{0.534}{\sin\theta_i} + 0.466\right) \tag{7-62}$$

$$\text{当 } d_i/d > 0.65 \text{ 时} \quad l_w = (3.81d_i - 0.389d)\left(\frac{0.534}{\sin\theta_i} + 0.466\right) \tag{7-63}$$

式中 θ_i—— 支管轴线与主管轴线的夹角；

d、d_i—— 分别为主管和支管外径。

在矩形管结构中，支管与主管交线的计算长度，对于有间隙的 K、N 型节点

$$\text{当 } \theta_i \geqslant 60° \text{ 时} \quad l_w = \frac{2h_i}{\sin\theta_i} + b_i \tag{7-64}$$

$$\text{当 } \theta_i \leqslant 50° \text{ 时} \quad l_w = \frac{2h_i}{\sin\theta_i} + 2b_i \tag{7-65}$$

当 $50° < \theta_i < 60°$ 时，l_w 按插值法确定。

对于 T、Y 和 X 型节点(见图 7-76)

$$l_w = \frac{2h_i}{\sin\theta_i} \tag{7-66}$$

式中 h_i、b_i——分别为支管的截面高度和宽度。

圆钢管杆件连接角焊缝的焊脚尺寸一般取 $h_f \leqslant 2t_i$（t_i 支管壁厚)；方钢管连接焊缝的

焊脚尺寸，则不宜大于所连接杆件最小厚度的1.5倍。

当支管为圆管、主管为矩形管时，焊缝计算长度取为支管与主管的相交线长度减去 d_i。

(3) 主管和支管均为圆管的直接焊接节点承载力按以下几种情况计算，但节点的几何参数应满足下列条件：$0.2 \leqslant \beta \leqslant 1.0$；$d_i/t_i \leqslant 60$；$d/t \leqslant 100$；$\theta \geqslant 30°$，$60° \leqslant \phi \leqslant 120°$。其中 β 为支管外径与主管外径之比；d_i、t_i 为支管的外径和壁厚；d、t 为主管的外径和壁厚；θ 为支管轴线与主管轴线的夹角；ϕ 为空间管节点支管的横向夹角，即支管轴线在主管横截面所在平面投影的夹角。

为保证节点处主管的强度，支管的轴心力不得大于下列规定中的承载力设计值：

1) X型节点（图7-75*a*）

A. 受压支管在管节点处的承载力设计值 N_{cX}^{pj} 应按下式计算：

$$N_{cX}^{pj} = \frac{5.45}{(1-0.81\beta)\sin\theta}\psi_n \cdot t^2 \cdot f \tag{7-67}$$

式中 $\beta = d_i/d$——支管外径与主管外径之比；

ψ_n——参数，$\psi_n = 1.0 - 0.3\left(\frac{\sigma}{f_y}\right) - 0.3\left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2$，当节点两侧或一侧主管受拉时，$\psi_n = 1$；

t——主管壁厚；

θ——支管轴线与主管轴线的夹角；

σ——节点两侧主管较小轴向压应力（绝对值）；

f——主管钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_y——主管钢材的屈服强度。

B. 受拉支管在管节点处的承载力设计值 N_{tX}^{pj} 应按下式计算：

$$N_{tX}^{pj} = 0.78\left(\frac{d}{2t}\right)^{0.2} N_{cX}^{pj} \tag{7-68}$$

2) T型和Y型节点（图7-75*b*、*c*）

A. 受压支管在管节点处的承载力设计值 N_{cT}^{pj} 应按下式计算：

$$N_{cT}^{pj} = \frac{11.51}{\sin\theta}\left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \cdot \psi_n \cdot \psi_d \cdot t^2 \cdot f \tag{7-69}$$

式中 ψ_d——参数，当 $\beta \leqslant 0.7$ 时，$\psi_d = 0.069 + 0.93\beta$

当 $\beta > 0.7$ 时，$\psi_d = 2\beta - 0.68$

B. 受拉支管在管节点处的承载力设计值 N_{tT}^{pj} 应按下式计算：

当 $\beta \leqslant 0.6$ 时，
$$N_{tT}^{pj} = 1.4N_{cT}^{pj} \tag{7-70}$$

当 $\beta > 0.6$ 时，
$$N_{tT}^{pj} = (2-\beta)N_{cT}^{pj} \tag{7-71}$$

3) K型节点（图7-75*d*）

A. 受压支管在管节点处的承载力设计值 N_{cK}^{pj} 应按下式计算：

$$N_{cK}^{pj} = \frac{11.51}{\sin\theta_c}\left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \cdot \psi_n \cdot \psi_d \cdot \psi_a \cdot t^2 \cdot f \tag{7-72}$$

式中 θ_c——受压支管轴线与主管轴线的夹角；

ψ_a——参数，按下式计算：

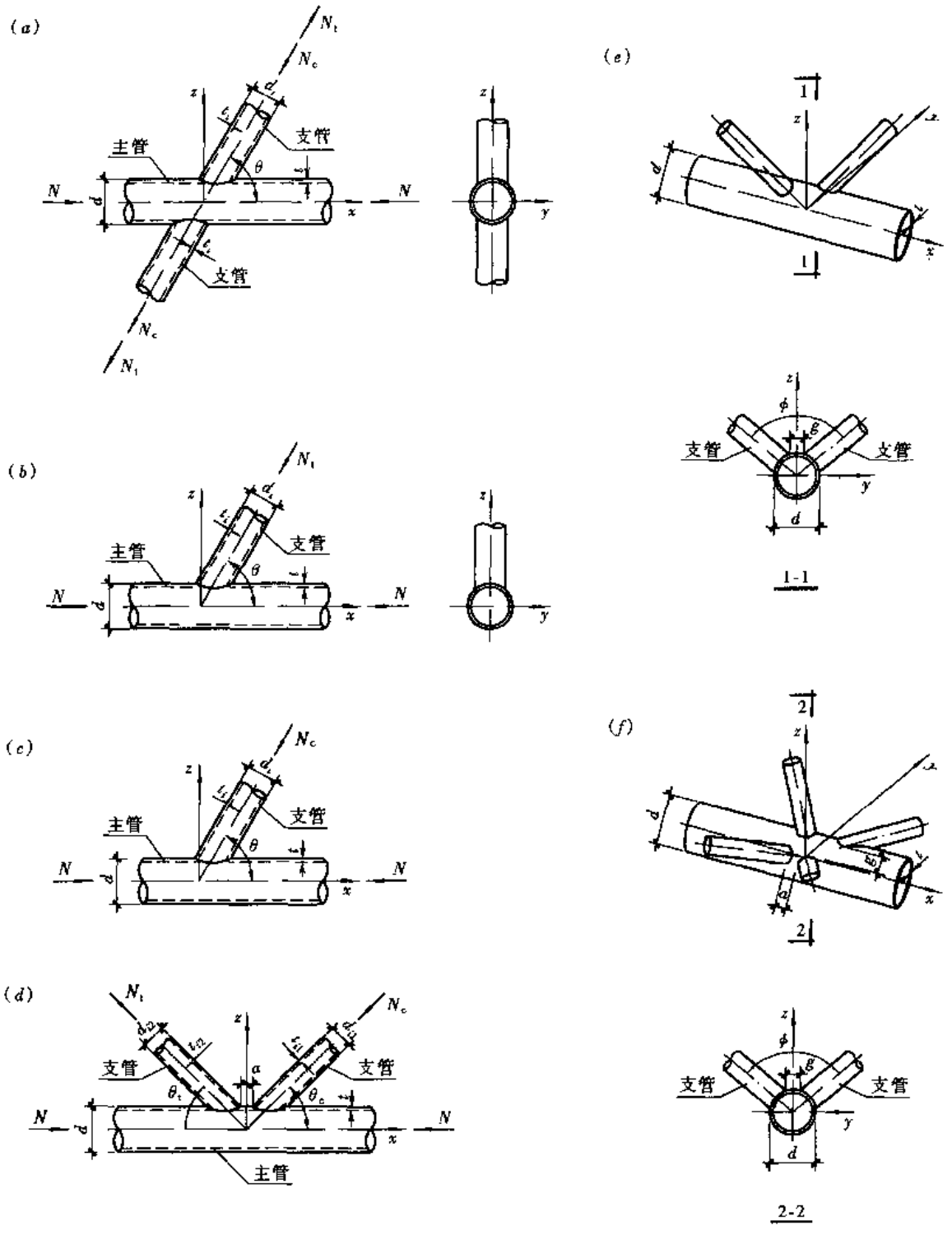


图 7-75 圆管直接焊接节点

(a) X 形节点；(b) T 形和 Y 形受拉节点；(c) T 形和 Y 形受压节点；(d) K 形节点；(e) TT 形节点；(f) KK 形节点

$$\psi_a = 1 + \left(\frac{2.19}{1 + 7.5a/d}\right)\left(1 - \frac{20.1}{6.6 + d/t}\right)(1 - 0.77\beta) \tag{7-73}$$

式中 a——两支管间的间隙，当 $a < 0$ 时，取 $a = 0$。

B. 受拉支管在管节点处的承载力设计值 N_{lK}^{pj}应按下式计算：

$$N_{lK}^{pj} = \frac{\sin\theta_c}{\sin\theta_t} N_{cK}^{pj} \tag{7-74}$$

式中　θ_t——受拉支管轴线与主管轴线的夹角。

4）TT 型节点（图 7-75*e*）

A. 受压支管在管节点处的承载力设计值 N_{cTT}^{pj}应按下式计算：

$$N_{cTT}^{pj} = \psi_g N_{cT}^{pj} \tag{7-75}$$

式中　$\psi_g = 1.28 - 0.64\frac{g}{d} \leqslant 1.1$，$g$ 为两支管的横向间距。

B. 受拉支管在管节点处的承载力设计值 N_{lTT}^{pj}应按下式计算：

$$N_{lTT}^{pj} = N_{lT}^{pj} \tag{7-76}$$

5）KK 型节点（图 7-75*f*）

受压和受拉支管在节点处的承载力设计值 N_{cKK}^{pj}或 N_{lKK}^{pj}应等于 K 型节点相应支管承载力设计值 N_{cK}^{pj}或 N_{lK}^{pj}的 0.9 倍。

（4）矩形管直接焊接节点的承载力，在满足表 7-11 规定的几何参数条件下，按以下几种情况计算。

矩形管节点几何参数的适用范围　　表 7-11

管截面形式		节点形式	节点几何参数，$i=1$ 或 2，表示支管；j—表示被搭接的支管					
			$\frac{b_i}{b}, \frac{h_i}{b}\left(\text{或}\frac{d_i}{b}\right)$	$\frac{b_i}{t_i}, \frac{h_i}{t_i}\left(\text{或}\frac{d_i}{t_i}\right)$		$\frac{h_i}{b_i}$	$\frac{b}{t}, \frac{h}{t}$	α 或 O_v $b_i/b_j, t_i/t_j$
				受　压	受拉			
主管为矩形管	支管为矩形管	T、Y、X 型	$\geqslant 0.25$	$\leqslant 37\sqrt{\frac{235}{f_{yi}}}$ $\leqslant 35$	$\leqslant 35$	$0.5 \leqslant \frac{h_i}{b_i} \leqslant 2$	$\leqslant 35$	$0.5(1-\beta) \leqslant \frac{a}{b} \leqslant 1.5(1-\beta)$* $a \geqslant t_1 + t_2$
		有间隙的 K 型和 N 型	$\geqslant 0.1 + 0.01\frac{b}{t}$ $\beta \geqslant 0.35$					
		搭接 K 型和 N 型	$\geqslant 0.25$	$\leqslant 33\sqrt{\frac{235}{f_{yi}}}$			$\leqslant 40$	$25\% \leqslant O_v \leqslant 100\%$ $\frac{t_i}{t_j} \leqslant 1.0, 1.0 \geqslant \frac{b_i}{b_j} \geqslant 0.75$
	支管为圆管		$0.4 \leqslant \frac{d_i}{b} \leqslant 0.8$	$\leqslant 44\sqrt{\frac{235}{f_{yi}}}$	$\leqslant 50$	用 d_i 取代 b_i 之后，仍应满足上述相应条件		

注：1. 表中标注 * 处当 $\alpha/b > 1.5(1-\beta)$，则按 T 型或 Y 型节点计算；

2. b_i、h_i、t_i——第 i 个支管的截面宽度、高度和壁厚；

d_i、t_i——第 i 个圆支管的外径和壁厚；

b、h、t——分别为矩形主管的截面宽度、高度和壁厚；

α——支管间的间隙，见图 7-76；

θ_v——搭接率，见本节前述；

β——参数：对 T、Y、X 型节点，$\beta = \frac{b_i}{b}$ 或 $\frac{d_i}{b}$；对 K、N 型节点，

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b} \text{ 或 } \beta = \frac{d_1 + d_2}{2b}$$

f_{yi}——为第 i 个支管钢材的屈服强度。

为保证节点处矩形主管的强度，支管的轴力 N_i 和主管的轴力 N 不得大于下列规定的

节点承载力设计值：

1）支管为矩形管的 T、Y 和 X 型节点（图 7-76*a*、*b*）

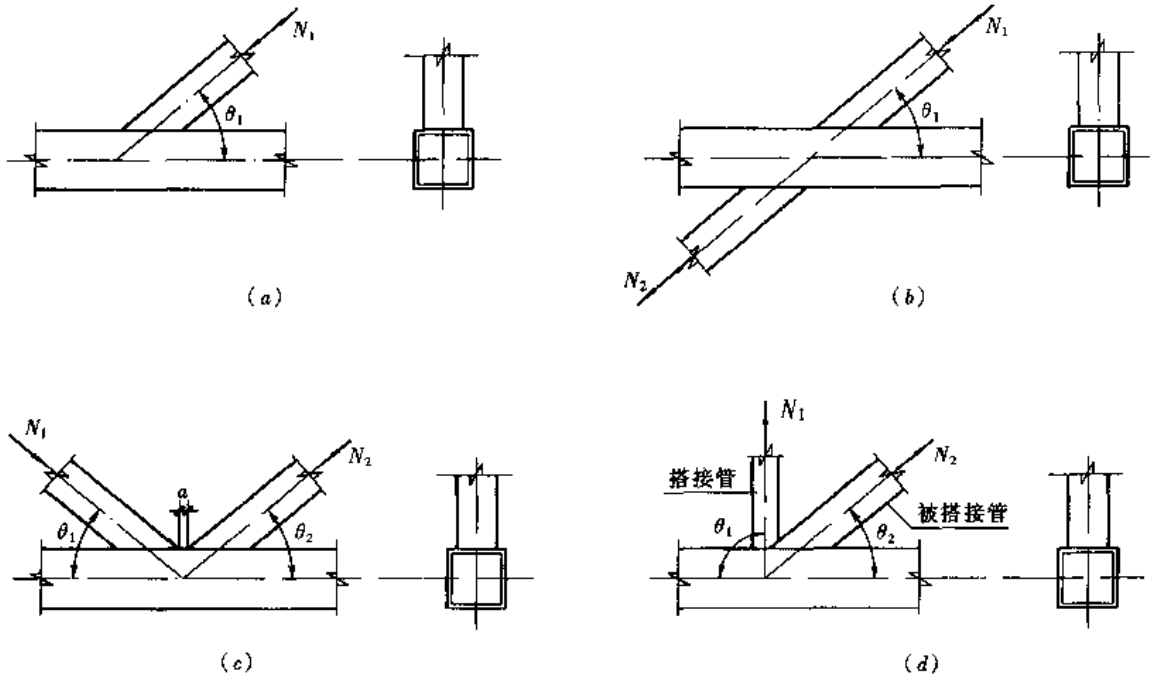


图 7-76 矩形管直接焊接节点

（*a*）T、Y 形节点；（*b*）X 形节点；（*c*）K、N 形节点，有间隙；（*d*）K、N 形节点；搭接

A. 当 $\beta \leqslant 0.85$ 时，支管在节点处的承载力设计值 N_i^{pj} 应按下式计算：

$$N_i^{pj} = 1.8\left(\frac{h_i}{bc\sin\theta_i} + 2\right)\frac{t^2 f}{c\sin\theta_i}\psi_n \tag{7-77}$$

$$c = \sqrt{(1-\beta)}$$

式中 ψ_n——参数，当主管受压时，$\psi_n = 1.0 - \dfrac{0.25}{\beta}\dfrac{\sigma}{f}$；

当主管受拉时，$\psi_n = 1.0$；

σ——节点两侧主管较大轴向压应力（绝对值），当节点有一侧主管受拉时，则取另一侧主管的轴向压应力（绝对值）。

B. 当 $\beta = 1.0$ 时，支管在节点处的承载力设计值 N_i^{pj} 应按下式计算：

$$N_i^{pj} = 2.0\left(\frac{h_i}{\sin\theta_i} + 5t\right)\frac{tf_k}{\sin\theta_i}\psi_n \tag{7-78}$$

当为 X 型节点，$\theta < 90°$ 且 $h \geqslant h_i/\cos\theta_i$ 时，尚需按下式验算：

$$N_i^{pj} = \frac{2.0htf_v}{\sin\theta_i} \tag{7-79}$$

式中 f_k——主管强度设计值，当支管受拉时，$f_k = f$；

当支管受压时，对 T、Y 型节点，$f_k = 0.8\varphi f$；对 X 型节点，$f_k = 0.65\sin\theta_i\varphi f$；

φ——按长细比 $\lambda = 1.73\left(\dfrac{h}{t} - 2\right)\sqrt{\dfrac{1}{\sin\theta_i}}$ 确定的轴压构件的稳定系数；

f_v——主管钢材的抗剪强度设计值。

C. 当 $0.85 < \beta < 1.0$ 时，支管在节点处承载力的设计值应按公式（7-77）与公式（7-78）或公式（7-79）所得的值，根据 β 进行线性插值。此外还应不超过下列二式的计算值：

$$N_i^{pj} = 2.0(h_i - 2t_i + b_e)tf_i \tag{7-80}$$

$$b_e = \frac{10}{b/t} \cdot \frac{f_y \cdot t}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i \leqslant b_i$$

当 $0.85 \leqslant \beta \leqslant 1 - \frac{2t}{b}$ 时，

$$N_i^{pj} = 2.0\left(\frac{h_i}{\sin\theta_i} + b_{ep}\right)\frac{tf_v}{\sin\theta_i} \tag{7-81}$$

$$b_{ep} = \frac{10}{b/t} \cdot b_i \leqslant b_i$$

式中　h_i、t_i、f_i——分别为支管的截面高度、壁厚以及抗拉（抗压和抗弯）强度设计值；

2）支管为矩形管的有间隙的 K 型和 N 型节点（图 7-76c）

A. 节点处任一支管的承载力设计值应取下列各式的较小值：

$$N_i^{pj} = 1.42\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{b \cdot \sin\theta_i}\sqrt{\frac{b}{t}}t^2 f\psi_n \tag{7-82}$$

$$N_i^{pj} = \frac{A_v f_v}{\sin\theta_i} \tag{7-83}$$

$$N_i^{pj} = 2.0\left(h_i - 2t_i + \frac{b_i + b_e}{2}\right)t_i f_i \tag{7-84}$$

当 $\beta \leqslant 1 - \frac{2t}{b}$ 时，尚应小于

$$N_i^{pj} = 2.0\left(\frac{h_i}{\sin\theta_i} + \frac{b_i + b_{ep}}{2}\right)\frac{tf_v}{\sin\theta_i} \tag{7-85}$$

式中　A_v——弦杆的受剪面积，按下式计算：

$$A_v = (2h + \alpha b)t \tag{7-86}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{3t^2}{3t^2 + 4a^2}} \tag{7-87}$$

B. 节点间隙处的弦杆轴心受力承载力设计值为：

$$N^{pj} = (A - \alpha_v A_v)f \tag{7-88}$$

式中　α_v——考虑剪力对弦杆轴向承载力的影响系数，按下式计算

$$\alpha_v = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_p}\right)^2} \tag{7-89}$$

$$V_p = A_v f_v$$

式中　V——节点间隙处弦杆所受的剪力，可按任一支管的竖向分力计算。

3）支管为矩形管的搭接 K 型和 N 型节点（图 7-76d）

为保证节点的强度，搭接支管的承载力设计值应根据不同的搭接率 O_v 按下列公式计算（下标 j 表示被搭接的支管）：

A. 当 $25\% \leqslant O_v < 50\%$ 时，

$$N_i^{pj} = 2.0\left[(h_i - 2t_i)\frac{O_v}{0.5} + \frac{b_e + b_{ej}}{2}\right] t_i f_i \tag{7-90}$$

$$b_{ej} = \frac{10}{b_j/t_j} \cdot \frac{t_j f_{yj}}{t_i f_{yi}} b_i \leqslant b_i$$

B. 当 $50\% \leqslant O_v < 80\%$ 时，

$$N_i^{pj} = 2.0\left(h_i - 2t_i + \frac{b_e + b_{ej}}{2}\right) t_i f_i \tag{7-91}$$

C. 当 $80\% \leqslant O_v \leqslant 100\%$ 时，

$$N_i^{pj} = 2.0\left(h_i - 2t_i + \frac{b_e + b_{ej}}{2}\right) t_i f_i \tag{7-92}$$

被搭接支管的承载力应满足下式要求：

$$\frac{N_j^{pj}}{A_j f_{yj}} \leqslant \frac{N_i^{pj}}{A_i f_{yi}} \tag{7-93}$$

4）当支管为圆管时，应将公式（7-86）中的 α 值取为零，其他上述各公式仍可使用，但需用 d_i 取代 b_i 和 h_i，并将各式右侧乘以系数 $\pi/4$。

（5）当屋架节点处各汇交杆件均采用顶接连接时（图 7-77），杆件间的连接焊缝可按下式计算：

$$\frac{N}{0.7h_f \cdot l_w} \leqslant f_f^w \tag{7-94}$$

式中 N——连接杆件的轴心力设计值；

h_f——沿截面周边连接焊缝的焊脚尺寸；

l_w——沿截面周边连接焊缝的计算长度，按公式（7-62）～（7-66）计算；

f_f^w——角焊缝的强度设计值。

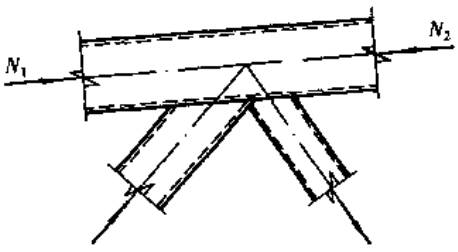


图 7-77 顶接连接焊缝计算简图

（6）当屋架腹杆与弦杆间采用加垫板的顶板连接时（图 7-78），垫板与弦杆的连接焊缝应按下式计算：

$$\sqrt{\left(\frac{\Delta N}{2 \times 0.7h_f \cdot l_w}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N \cdot e}{1.22W_f}\right)^2} \leqslant f_f^w \tag{7-95}$$

式中 ΔN——屋架节点处相邻两节间弦杆的内力之差，$\Delta N = N_1 - N_2$（$N_2 > N_1$）；

l_w、h_f——连接焊缝的计算长度及焊脚尺寸；

W_f——沿截面周边连接焊缝的截面抵抗矩，$W_f = \dfrac{0.7h_f l_f^2}{6}$；

e——弦杆重心线与连接焊缝间的距离。

（7）当屋架节点处作用有外荷载 P 时（图 7-79），垫板与弦杆间的连接焊缝可按下式计算：

$$\sqrt{\left(\frac{\Delta N}{2 \times 0.7h_f \cdot l_w}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N \cdot e}{1.22W_f} + \frac{P}{1.22 \times 2 \times 0.7h_f \cdot l_w}\right)^2} \leqslant f_f^w \tag{7-96}$$

式中符号含义同前。

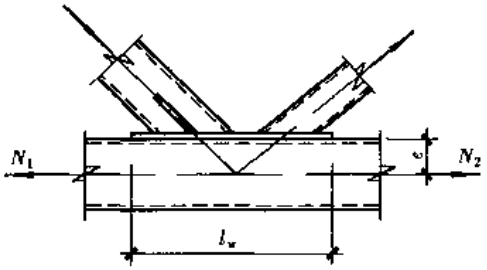


图 7-78　垫板连接焊缝计算简图

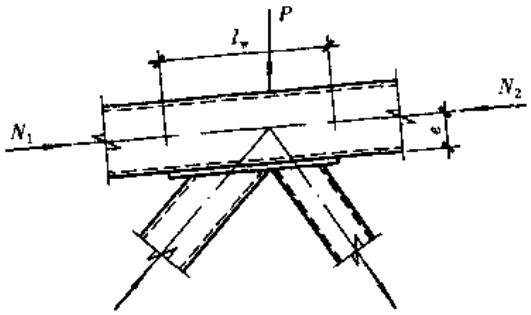


图 7-79　有外荷载时垫板连接焊缝计算简图

计算垫板焊缝的强度时，垫板的端焊缝通常可不计入，但须封闭焊接。

（8）钢管屋架铰接支座节点的计算，与角钢屋架相同，不再赘述。

7.2.7　设计实例

【例题 7-7】　18m三角形角钢屋架

1. 设计资料

某工程为跨度 18m 的单跨双坡封闭式厂房，采用三角形角钢屋架，屋面坡度为 $i = 1/3$，屋架间距为 6m，无吊车。屋架铰支于钢筋混凝土柱柱顶，无吊顶，外檐口采用自由排水，屋架下弦标高为 10m，屋面材料采用波形石棉中波或小波瓦，油毡、木望板，Z 型檩条，地面粗糙度类别为 B 类，结构重要性系数为 $\gamma_0 = 1.0$，基本风压 $w_0 = 0.50\text{kN/m}^2$，基本雪压 $s_0 = 0.30\text{kN/m}^2$。屋架采用 Q235B 钢，焊条采用 E43 型。

2. 屋架形式及几何尺寸

屋架形式及几何尺寸如图 7-80。檩条支承于屋架上弦节点及节间内中点。屋架坡角（上弦与下弦之间的夹角）为 $\alpha = \text{arctg}\dfrac{1}{3} = 18°26'$，檩距为 0.778m。

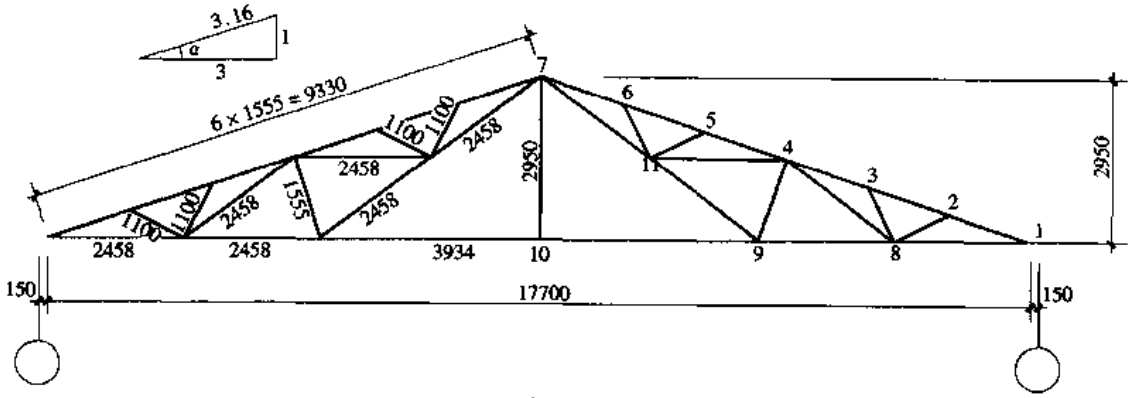


图 7-80　屋架形式及几何尺寸

3. 支撑布置

据《建筑抗震设计规范》（GB50011—2001），支撑布置见图 7-81，上弦横向水平支撑设置在房屋两端及伸缩缝处第一开间内，并在相应开间屋架跨中设置垂直支撑，在其余开间屋架下弦跨中设置一通长水平柔性系杆，上弦横向水平支撑在交叉点处与檩条相连。故上弦杆在屋架平面外的计算长度等于其节间几何长度；下弦杆在屋架平面外的计算长度为屋架跨度的一半。

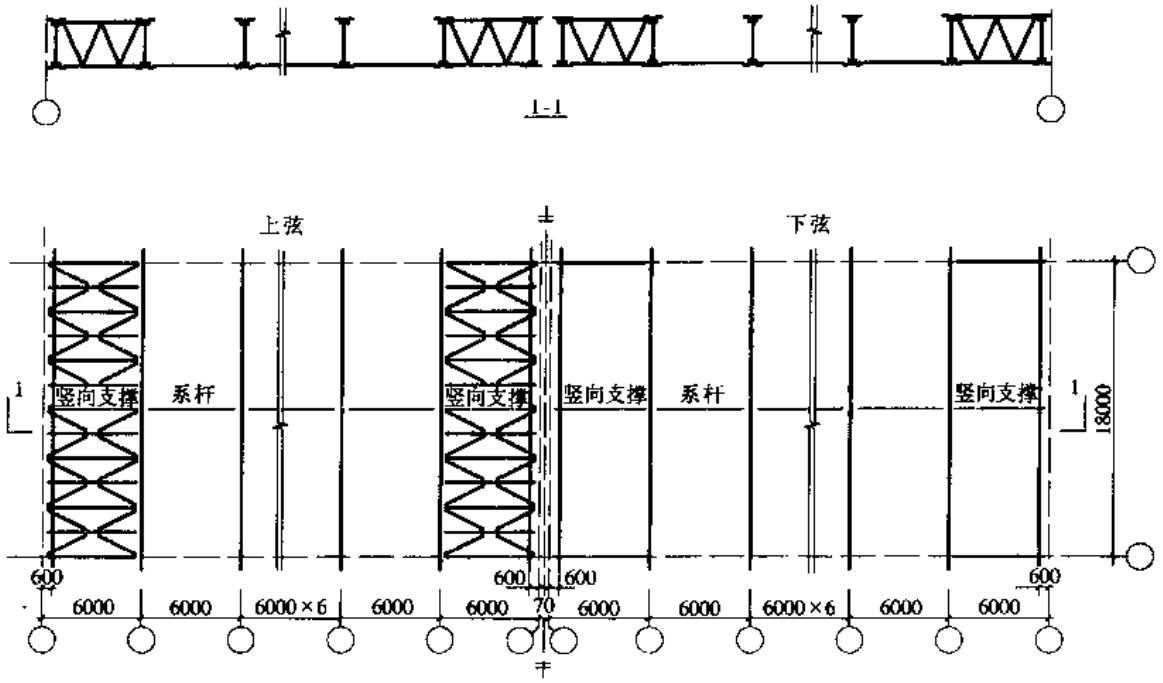


图 7-81 屋架、支撑平面布置图

4. 荷载标准值

(1) 永久荷载（恒荷载）(对水平投影面)

波形石棉瓦自重（小波或中波）	$0.20/\cos 18°26' = 0.21\text{kN/m}^2$	
油毡、木望板自重	$0.18/\cos 18°26' = 0.19\text{kN/m}^2$	
檩条自重		0.10kN/m^2
屋架及支撑自重		0.15kN/m^2
管道等		0.05kN/m^2
合计		0.70kN/m^2

(2) 可变荷载（活荷载）(对水平投影面)

1) 屋面活荷载 0.30kN/m^2（按 2.2.1 条，支承轻型屋面构件或结构，当仅有一个可变荷载且受荷水平投影面积为超过 60m^2，屋面均布活荷载标准值宜取为 0.3kN/m^2)。本例为 $18 \times 6 = 108\text{m}^2 > 60\text{m}^2$。

2) 雪荷载

基本雪压：$s_0 = 0.30\text{kN/m}^2$。据《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001) 表 6.2.1，考虑积雪全跨均布均匀分布情况，由于 $\alpha = 18°26' < 25°$，$\mu_r = 1.0$。雪荷载标准值 $s_k = \mu_r s_0 = 0.30\text{kN/m}^2$。由该表注 1 可知，$\alpha = 18°26' < 20°$，可不考虑全跨不均匀分布积雪情况。

3) 风荷载

基本风压：$w_0 = 0.50\text{kN/m}^2$

(3) 荷载组合

1) 恒荷载 + 活（或雪）荷载

2) 恒荷载 + 半跨活（或雪）荷载

3）恒荷载 + 风荷载

4）屋架、檩条自重 + 半跨（屋面板 + 0.30kN/m² 安装荷载）

（4）上弦的集中恒荷载及节点恒荷载

由檩条传给屋架上弦的集中恒荷载和上弦节点恒荷载分别见图 7-82、图 7-83。

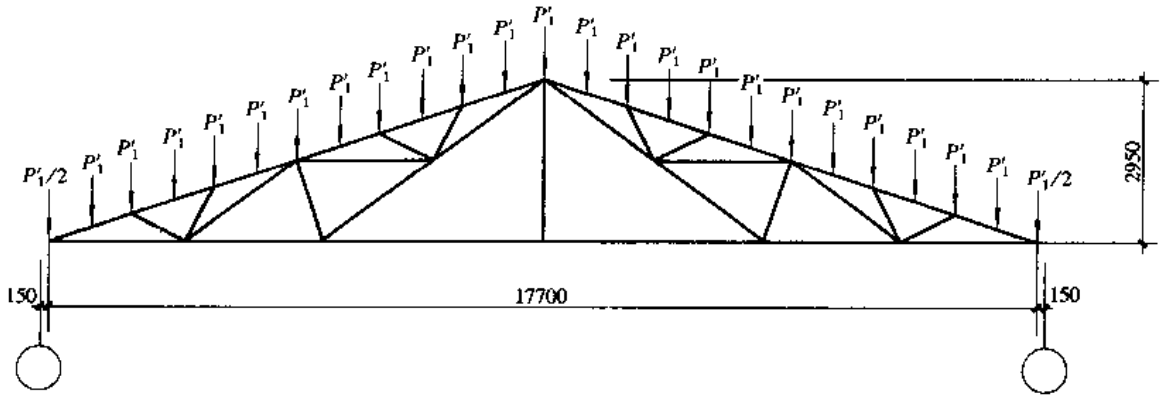


图 7-82　上弦集中恒荷载计算简图

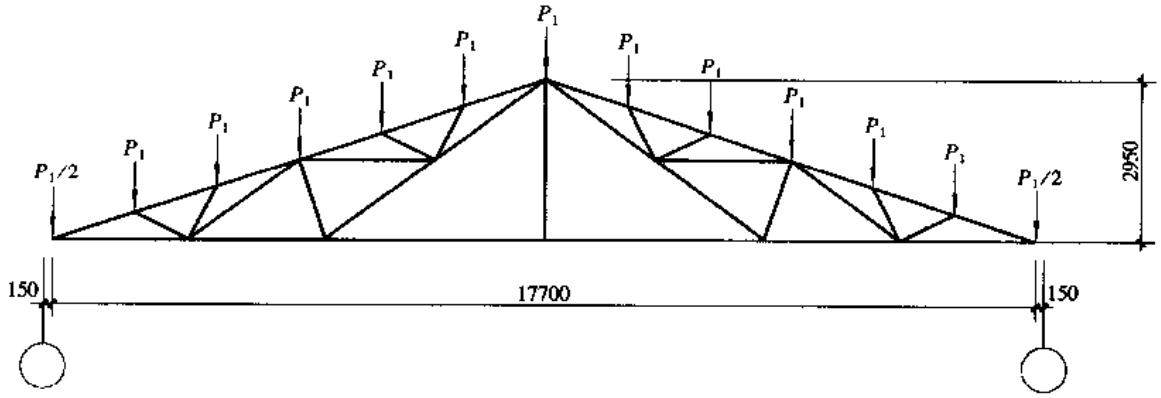


图 7-83　上弦节点恒荷载计算简图

由檩条传给屋架上弦的集中活荷载和上弦节点活荷载分别见图 7-84、图 7-85。

具体计算过程如下：

1）全跨屋面恒荷载作用下

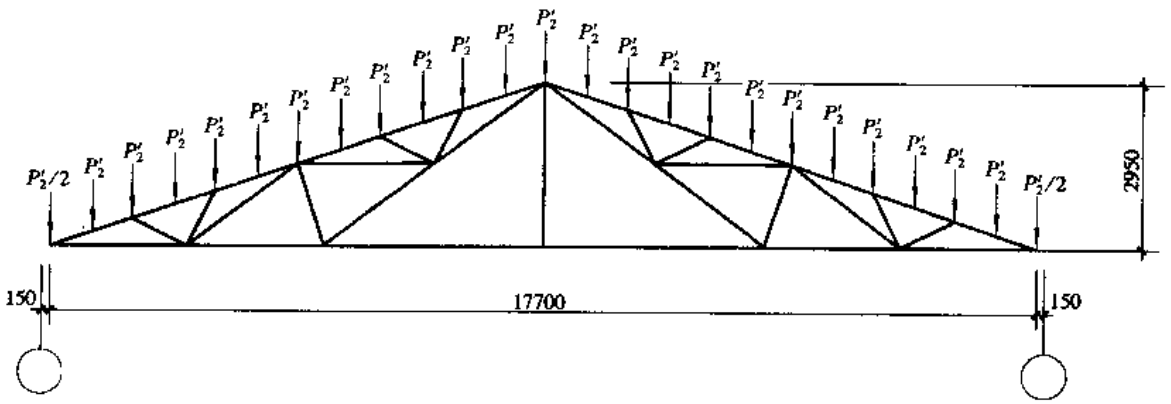


图 7-84　上弦集中活荷载计算简图

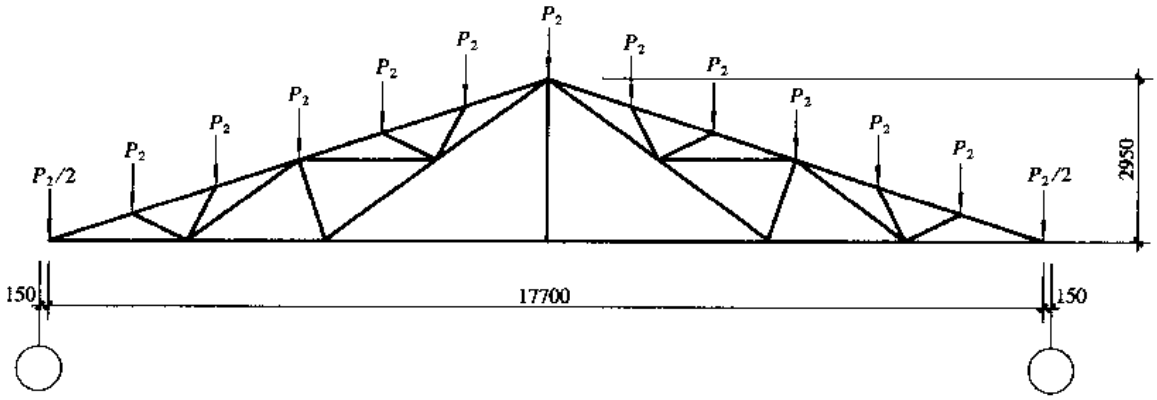


图 7-85 上弦节点活荷载计算简图

上弦集中恒荷载标准值 $p_1' = 0.70 \times 6 \times 0.778 \times \dfrac{3}{\sqrt{10}} = 3.10\text{kN}$

上弦节点恒荷载 $p_1 = 2p_1' = 2 \times 3.10 = 6.20\text{kN}$

2）全跨雪荷载荷载作用下

上弦集中雪荷载标准值 $p_2' = 0.30 \times 6 \times 0.778 \times \dfrac{3}{\sqrt{10}} = 1.33\text{kN}$

上弦节点雪荷载 $p_2 = 2p_2' = 2 \times 1.33 = 2.66\text{kN}$

假定基本组合由可变荷载效应控制，则上弦节点荷载设计值为 $1.2 \times 6.20 + 1.4 \times 2.66 = 11.16\text{kN}$；若基本组合由永久荷载效应控制，则上弦节点荷载设计值为 $1.35 \times 6.20 + 1.4 \times 0.7 \times 2.66 = 10.98\text{kN}$。综上可知，本工程屋面荷载组合由可变荷载效应控制。

3）风荷载标准值

风载体型系数：背风面 $\mu_s = -0.5$，

迎风面 $\mu_s = -0.47 \approx -0.5$，

风压高度变化系数 μ_z，（本例设计地面粗糙度为 B 类），屋架下弦标高为 10.0m，$H = 10 + \dfrac{2.95}{2} = 11.5\text{m}$ 坡度为 $i = 1/3$，$\alpha = 18°26'$，风压高度变化系数，$\mu_z = 1.04 \approx 1.0$，$\beta_z = 1.0$

计算主要承重结构：$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$

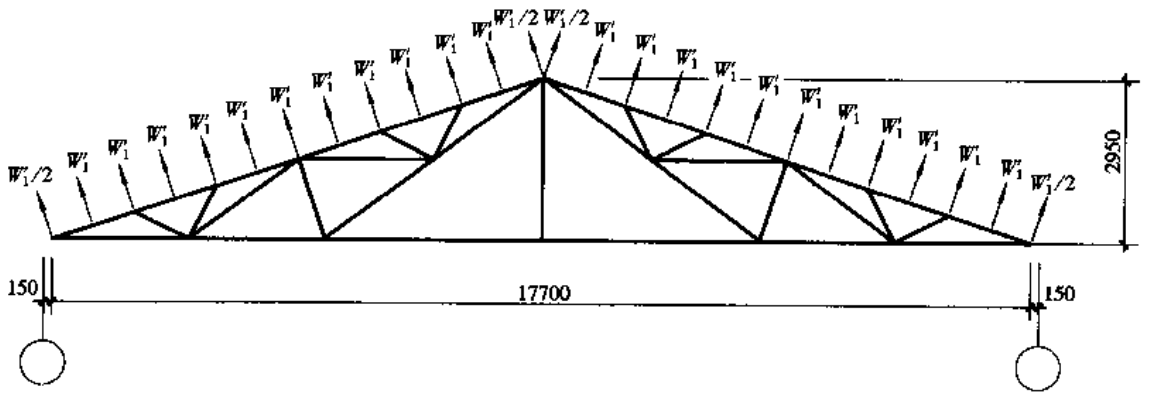


图 7-86 上弦风荷载计算简图

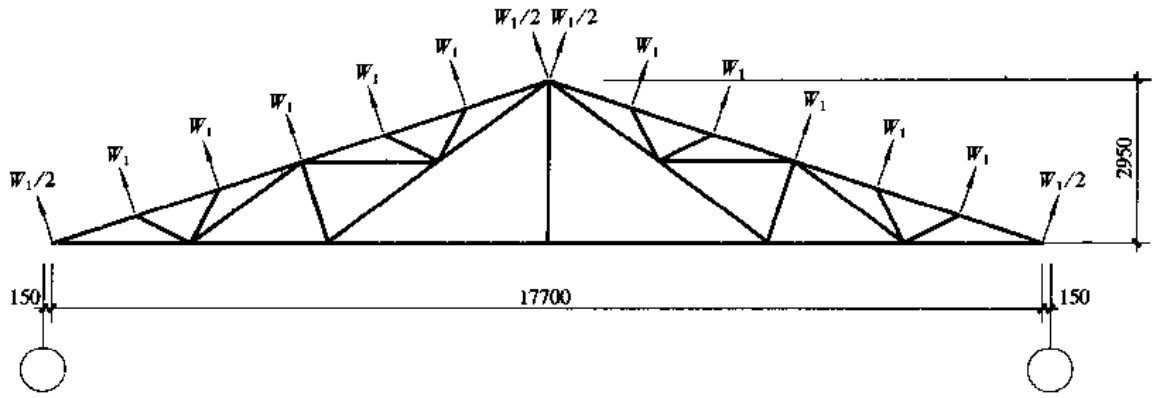


图 7-87　上弦节点风荷载计算简图

背风面：$w_k = 1.0 \times (-0.5) \times 1.0 \times 0.50 = 0.25 kN/m^2$（垂直于屋面），为风吸力

迎风面：$w_k = 1.0 \times (-0.5) \times 1.0 \times 0.50 = 0.25 kN/m^2$（垂直于屋面），为风吸力

由檩条传给屋架上弦的集中风荷载标准值 $W_1' = -0.25 \times 0.778 \times 6 = -1.17 kN$，上弦节点风荷载标准值 $W_1 = 2P_3' = 2 \times (-1.17) = -2.34 kN$。

风荷载计算简图见图 7-86、图 7-87。

5. 内力计算

(1) 内力组合见表 7-12

屋架杆件内力组合表　　表 7-12

杆件名称	杆件编号	全跨荷载				半跨荷载		风荷载		内力组合			最不利内力
		内力系数	恒载标准值 1 $P_{1k}=6.20$（计支撑自重）	恒载标准值 2 $P_{1k}=5.67$（不计支撑自重）	活载标准值 $P_{2k}=2.66$	内力系数	半跨活（或雪）荷载内力标准值 $s_k=2.66$	内力系数	风荷载内力标准值 $W_1=-2.34$	1.2恒2+1.4活	1.2恒2+1.4半跨活	1.0恒2+1.4风	
上弦	1—2	-17.39	-107.82	-98.60	-46.26	-12.65	-33.65	16.55	38.73	-194.14	-176.49	-44.38	-194.14
	2—3	-16.13	-100.01	-91.46	-42.91	-11.40	-30.32	15.50	36.27	-180.08	-162.46	-40.68	-180.08
	3—4	-16.76	-103.91	-95.03	-44.58	-12.05	-32.05	16.55	38.73	-187.11	-169.57	-40.81	-187.11
	4—5	-16.44	-101.93	-93.21	-43.73	-11.70	-31.12	16.55	38.73	-183.54	-165.88	-39.00	-183.54
	5—6	-15.18	-94.12	-86.07	-40.38	-10.45	-27.80	15.50	36.27	-169.47	-151.86	-35.29	-169.47
	6—7	-15.81	-98.02	-89.64	-42.05	-11.10	-29.53	16.55	38.73	-176.50	-158.96	-35.42	-176.50
下弦	1—8	16.50	102.30	93.56	43.89	12.00	31.92	-17.34	-40.58	184.21	167.45	36.75	184.21
	8—9	13.50	83.70	76.55	35.91	9.00	23.94	-14.32	-33.51	150.71	133.96	29.63	150.71
	9—10	9.00	55.80	51.03	23.94	4.50	11.97	-9.48	-22.18	100.48	83.72	19.97	100.48

续表

杆件名称	杆件编号	全跨荷载				半跨荷载		风荷载		内力组合			最不利内力
		内力系数	恒载标准值1 $P_{1k}=6.20$（计支撑自重）	恒载标准值2 $P_{1k}=5.67$（不计支撑自重）	活载标准值 $P_{2k}=2.66$	内力系数	半跨活（或雪）荷载内力标准值 $s_k=2.66$	内力系数	风荷载内力标准值 $W_1=-2.34$	1.2恒2+1.4活	1.2恒2+1.4半跨活	1.0恒2+1.4风	
腹杆	2—8	-1.34	-8.31	-7.60	-3.56	-1.34	-3.56	1.41	3.30	-14.96	-14.96	-2.98	-14.96
	3—8	-1.34	-8.31	-7.60	-3.56	-1.34	-3.56	1.41	3.30	-14.96	-14.96	-2.98	-14.96
	4—8	3.00	18.60	17.01	7.98	3.00	7.98	-3.16	-7.39	33.49	33.49	6.66	33.49
	4—9	-2.85	-17.67	-16.16	-7.58	-2.85	-7.58	3.00	7.02	-31.82	-31.82	-6.33	-31.82
	4—11	3.00	18.60	17.01	7.98	3.00	7.98	-3.16	-7.39	33.49	33.49	6.66	33.49
	5—11	-1.34	-8.31	-7.60	-3.56	-1.34	-3.56	1.41	3.30	-14.96	-14.96	-2.98	-14.96
	6—11	-1.34	-8.31	-7.60	-3.56	-1.34	-3.56	1.41	3.30	-14.96	-14.96	-2.98	-14.96
	9—11	4.50	27.90	25.52	11.97	4.50	11.97	-4.47	-10.46	50.24	50.24	10.87	50.24
	7—11	7.50	46.50	42.53	19.95	7.50	19.95	-7.90	-18.49	83.73	83.73	16.64	83.73
	7—10	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：1. 表中1.0恒+1.4风组合中，为安全起见，恒载取不计支撑自重的较小值。

2. 除表中内力组合外，另外进行了屋架、檩条自重+半跨（屋面板+0.3kN/m²）和安装荷载的组合验算不控制。

假定杆件受拉符号为正，受压符号为负。

（2）上弦杆弯矩计算

上弦杆的弯矩为：$M_0=\frac{1}{4}\times(3.10\times1.2+1.33\times1.4)\times\frac{3}{\sqrt{10}}\times1.555=2.06\text{kN}\cdot\text{m}$

端节间跨中正弯矩：$M_1=0.8M_0=0.8\times2.06=1.65\text{kN}\cdot\text{m}$

中间节间跨中正弯矩和中间节点负弯矩：

$$M_2=0.6M_0=0.6\times2.06=1.24\text{kN}\cdot\text{m}$$

6. 截面选择

（1）上弦杆截面选择

上弦杆采用相同截面，以节间1-2的最大轴力 N_{1-2} 来选择：

$$N_{1-2}=-194.14\text{kN},M_{\max}=1.65\text{kN}\cdot\text{m}\text{（跨中）}$$

$$M_{\max}=-1.24\text{kN}\cdot\text{m}\text{（节点2处）},l_{0x}=l_{0y}=155.5\text{cm}$$

选用截面⌐75×6

截面的几何特性：

截面面积：$A=17.59\text{cm}^2$

截面抵抗矩：$W_{1x}=45.37\text{cm}^3$，$W_{2x}=17.27\text{cm}^3$

回转半径：$i_x=2.31\text{cm},i_y=3.31\text{cm}$

长细比：$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{155.5}{2.31}=67.3$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{155.5}{3.31} = 47.0,\text{属 } b \text{ 类截面。}$$

由表 3-17：

$$b/t = \frac{75}{6} = 12.5 > 0.58 l_{0y}/b = 0.58 \times \frac{1555}{75} = 12.0$$

由表 3-17 中公式（3-51b）得：

$$\lambda_{yz} = 3.9 \frac{b}{t}\left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{18.6 b^4}\right) = 3.9 \times \frac{75}{6} \times \left(1 + \frac{1555^2 \times 6^2}{18.6 \times 75^4}\right) = 56.0$$

查表 14-3 得 $\varphi_x = 0.767$，$\varphi_{yz} = 0.828$

$$N'_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 2.06 \times 10^5 \times 17.59 \times 10^2}{1.1 \times 67.3^2} = 717.8\text{kN},$$

塑性系数　$\gamma_{x1} = 1.05$，$\gamma_{x2} = 1.2$（由表 3-20 查得）

1）弯矩作用平面内的稳定验算：

此端节间弦杆相当于两端支承的杆件，其上作用弯矩和横向荷载使构件产生反向曲率，故取等效弯矩系数 $\beta_{mx} = 0.85$

用跨中最大正弯矩 $M_{x1} = 1.65\text{kN}\cdot\text{m}$ 验算，由表 3-19 中公式（3-68）得：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_{x1}}{\gamma_{x1} W_{1x}\left(1 - 0.8\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)} = \frac{194.14 \times 10^3}{0.767 \times 17.59 \times 10^2} + \frac{0.85 \times 1.65 \times 10^6}{1.05 \times 45.37 \times 10^3 \times \left(1 - 0.8 \times \dfrac{194.14}{717.8}\right)}$$

$= 181.5\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$(0.95 系考虑原规范轻型钢结构应力降低的折减系数，下同。)

由表 3-19 中公式（3-69）得：

$$\left|\frac{N}{A} - \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_{x2} W_{2x}\left(1 - 1.25\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}\right|$$

$$= \left|\frac{194.14 \times 10^3}{17.59 \times 10^2} - \frac{0.85 \times 1.65 \times 10^6}{1.2 \times 17.27 \times 10^3 \times \left(1 - 1.25 \times \dfrac{194.14}{717.8}\right)}\right| = 8.1\text{N/mm}^2 < f$$

$= 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$

故平面内的稳定性得以保证。

2）弯矩作用平面外的稳定验算

由表 3-9 中公式（3-13）得：

$$\varphi_b = 1 - 0.0017\lambda_y\sqrt{\frac{f_y}{235}} = 1 - 0.0017 \times 47.0 \times \sqrt{\frac{235}{235}} = 0.920$$

由表 3-19 中公式（3-70）得：

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{\eta\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_{1x}} = \frac{194.14 \times 10^3}{0.828 \times 17.59 \times 10^2} + \frac{1.0 \times 0.85 \times 1.65 \times 10^6}{0.920 \times 45.37 \times 10^3}$$

$= 166.9\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$

在节点“2”处，按表 3-19 中公式（3-67）计算的强度（此处截面无孔眼削弱）为：

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M_{x2}}{\gamma_{x2} W_{xmin}} = \frac{194.14 \times 10^3}{17.59 \times 10^5} + 1.0 \times \frac{1.24 \times 10^6}{1.2 \times 17.27 \times 10^3} = 170.2\text{N/mm}^2$$

$$< f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$$

(2) 下弦杆截面选择

下弦杆也采用相同截面，以节间 1-8 的最大轴力 $N_{1\text{-}8}$来选择：

$$N_{max} = N_{1\text{-}8} = 184.21\text{kN},\ l_{0x} = 393.4\text{cm},\ l_{0y} = 885.0\text{cm}$$

选用截面 ⌐ 56 × 5

截面面积：$A = A_n = 10.83\text{cm}^2$，

回转半径：$i_x = 1.72\text{cm}$，$i_y = 2.54\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{393.4}{1.72} = 228.7 < [\lambda] = 400$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{885.0}{2.54} = 348.4 < [\lambda] = 400$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$\sigma = \dfrac{N_{max}}{A_n} = \dfrac{184.21 \times 10^3}{10.83 \times 10^2} = 170.1\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$，满足要求。

(3) 杆件 5-11、6-11、2-8、3-8 截面选择

$$N_{2\text{-}8} = N_{3\text{-}8} = N_{5\text{-}11} = N_{6\text{-}11} = -14.96\text{kN}, l_y = 0.9l = 0.9 \times 110 = 99.0\text{cm}$$

选用截面 ∟40 × 4，

截面的几何特性：

截面面积：$A = 3.09\text{cm}^2$

回转半径：$i_y = 0.79\text{cm}$

长细比 $\lambda_y = \dfrac{l_y}{i_y} = \dfrac{99.0}{0.79} = 125.3 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b/t = \frac{40}{4} = 10 < 0.54 l_{0y}/b = 0.54 \times \frac{990}{40} = 13.4$$

由表 3-17 中公式（3-50a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y\left(1 + \frac{0.85b^4}{l_{0y}^2 t^2}\right) = 125.3 \times \left(1 + \frac{0.85 \times 40^4}{990^2 \times 4^2}\right) = 142.7$$

查表 14-3 得，$\varphi_{yz} = 0.334$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$\sigma = \dfrac{N}{\varphi_{yz} A} = \dfrac{14.96 \times 10^3}{0.334 \times 3.09 \times 10^2} = 145.0\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$，满足要求。

注：也可按表 2-9 算得，单面连接单角钢的强度折减系数 $\alpha_y = 0.6 + 0.0015\lambda = 0.6 + 0.0015 \times 125.3 = 0.788$，

$\lambda_y = 125.3$，查表 14-3 得，$\varphi_y = 0.409$，$\alpha_y \varphi_y = 0.788 \times 0.409 = 0.322 < \varphi_{yz} = 0.33$。

$\sigma = \dfrac{N}{\alpha_y \varphi_{yz} A} = \dfrac{14.96 \times 10^3}{0.322 \times 3.09 \times 10^2} = 150.4\text{N/mm}^2 < f = 204.3$，满足要求。

(4) 杆件 4-9 截面选择

$$N_{4\text{-}9} = -31.82\text{kN}, l_{0x} = 0.8l = 0.8 \times 155.5 = 124.0\text{cm}, l_{0y} = 155.5\text{cm}$$

选用截面 ⌐ 36 × 4，

截面的几何特性：

截面面积：$A = 5.51\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 1.09\text{cm}$，$i_y = 1.73\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{124.0}{1.09} = 113.8 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{155.5}{1.73} = 89.9 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

按表 3-17：

$$b/t = \frac{36}{4} = 9 < 0.58 l_{0y}/b = 0.58 \times \frac{1555}{36} = 25.1$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得：

$$\lambda_{yz} \approx \lambda_y \left(1 + \frac{0.475 b^4}{l_{0y}^2 t^2}\right) = 89.9 \times \left(1 + \frac{0.475 \times 36^4}{1555^2 \times 4^2}\right) = 91.8$$

查表 14-3 得 $\varphi_x = 0.471$，$\varphi_{yz} = 0.609$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{31.82 \times 10^3}{0.471 \times 5.51 \times 10^2} = 122.6\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$$，满足要求。

（5）杆件 4-8、4-11 截面选择

$N_{4\text{-}8} = N_{4\text{-}11} = 33.49\text{kN}$，$l_{0x} = 0.8l = 0.8 \times 245.7 = 196.6\text{cm}$，$l_{0y} = 245.7\text{cm}$

选用截面┐Γ 30 × 4

截面面积：$A = A_n = 4.55\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 0.90\text{cm}$，$i_y = 1.49\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{196.6}{0.90} = 218.4 < [\lambda] = 400$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{245.7}{1.49} = 164.9 < [\lambda] = 400$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{33.49 \times 10^3}{4.55 \times 10^2} = 73.6\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$$，满足要求。

（6）杆件 7-11 截面选择

$$N_{7\text{-}11} = 83.73\text{kN}, l_{0x} = 245.8\text{cm}, l_{0y} = 491.6\text{cm}$$

选用截面┐Γ 36 × 4

截面面积：$A = A_n = 5.51\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 1.09\text{cm}$，$i_y = 1.73\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{245.8}{1.09} = 225.5 < [\lambda] = 400$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{491.6}{1.73} = 284.2 < [\lambda] = 400$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{83.73 \times 10^3}{5.51 \times 10^2} = 152.0\text{N/mm}^2 < f = 0.95 \times 215 = 204.3\text{N/mm}^2$，满足要求。

杆件 9-11 采用相同截面，具体计算从略。

(7) 杆件 7-10 截面选择

$$N_{7\text{-}10} = 0, l_0 = 0.9 \times 295 = 265.5\text{cm}$$

选用截面┴ 36 × 4

截面面积：$A = A_n = 5.51\text{cm}^2$

回转半径：$i_y = 1.38\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \frac{l_0}{i_y} = \frac{265.5}{1.38} = 193 < [\lambda] = 200$

将以上计算结果汇总列表如表 7-13。

屋架杆件截面选用表 表 7-13

杆件名称	杆件编号	内力 (kN)	截面规格 (mm)	截面面积 (cm^2)	计算长度 l_{0x} (cm)	计算长度 l_{0y} (cm)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	长细比 λ_x	长细比 λ_y	长细比 λ_{yz}	稳定系数 φ_{min}	强度 N/A (N/mm^2)	稳定性 $\frac{N}{\varphi_{min}A}$ (N/mm^2)	容许长细比 $[\lambda]$	强度设计值 f (N/mm^2)
上弦杆	1—2	-194.14	⊤ 75 × 6	17.59	155.5	155.5	2.31	3.31	67.3	47.0	56.0	0.767		182.3	150	204.3
下弦杆	1—8	184.21	⊥ 56 × 5	10.83	393.4	885.0	1.72	2.54	228.7	348.4			170.1		400	204.3
腹杆	2—8 3—8 5—11 6—11	-14.96	L40 × 4	3.09	99.0		0.79		125.3		142.7	0.334		150.4	150	204.3
	4—9	-31.82	⊤ 36 × 4	5.51	124.0	155.5	1.09	1.73	113.8	89.9	91.8	0.471		122.6	150	204.3
	4—8 4—11	33.49	⊤ 30 × 4	4.55	196.6	245.7	0.90	1.49	218.4	164.9			73.6		400	204.3
	7—11	83.73	⊤ 36 × 4	5.51	245.8	491.6	1.09	1.73	225.5	284.2			152.0		400	204.3
	7—10	0	┴ 36 × 4	5.51	265.5		1.38		193.0						200	204.3

注：1. 上弦杆 1—2 中已考虑弯矩影响，采用公式 (3-68) 算得。

2. λ_x 和 λ_y 均小于 $[\lambda]$。

3. 7-10 杆其主要为减小下弦杆的长细比和竖向支撑的端竖杆，故取 $[\lambda] = 200$。

7. 节点连接计算

(1) 一般杆件连接焊缝

设焊缝厚度 $h_f = 4\text{mm}$，焊缝长度可由公式 (4-20)、(4-21) 求得。同时按表 2-9 之规定，角焊缝强度设计值 f_f^w 应予折减，再考虑轻型钢结构乘以 0.95 的系数。具体计算列表如表 7-14。

(2) 上弦节点连接计算

1) 支座节点 "1" (见图 7-88)

为了便于施焊，下弦杆肢背与支座底板顶面的距离取 125mm，锚栓用 2M20，栓孔位置尺寸见图 7-88。在节点中心线上设置加劲肋，加劲肋高度与节点板高度相等。

屋架杆件连接焊缝表　　表 7-14

杆件名称	杆件编号	截面规格 (mm)	杆件内力 (mm)	肢背焊脚尺寸 h_{f1} (mm)	肢背焊缝长度 l'_w (mm)	肢尖焊脚尺寸 h_{f2} (mm)	肢尖焊缝长度 l'_w (mm)
下弦杆	1—8	⊥ 56×5	184.21	4	160	4	75
斜腹杆	2—8	L40×4	−14.96	4	45	4	45
	3—8	L40×4	−14.96	4	45	4	45
	4—8	⊤ 30×4	33.49	4	45	4	45
	4—9	⊤ 36×4	−31.82	4	45	4	45
	4—11	⊤ 30×4	33.49	4	45	4	45
	5—11	L40×4	−14.96	4	45	4	45
	6—11	L40×4	−14.96	4	45	4	45
	7—11	⊤ 36×4	83.73	4	80	4	45
	9—11	⊤ 36×4	50.24	4	55	4	45
竖腹杆	7—10	⊤ 36×4	0	4	45	4	45

注：表中焊缝计算长度 l_w，$l'_w = l_w + 2h_f$

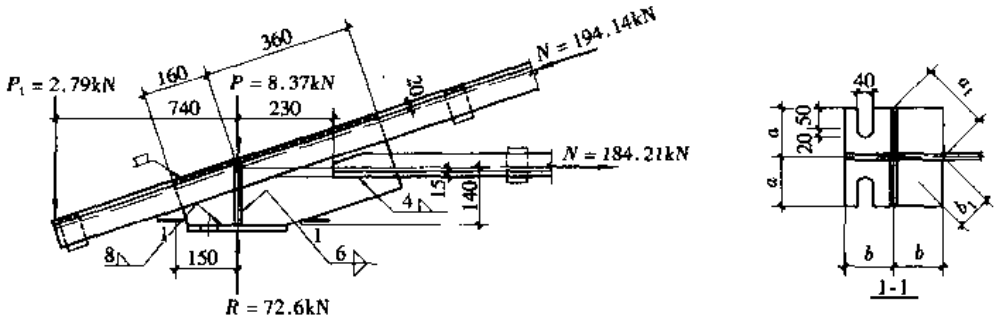


图 7-88　支座节点“1”

A. 支座底板计算

支座反力：$R = 6 \times 11.16 + (1.2 \times 0.7 + 1.4 \times 0.3) \times 0.74 \times 6 = 72.6\text{kN}$

设 $a = b = 120\text{mm}$，$a_1 = \sqrt{2} \times 120 = 169.7\text{mm}$，$b_1 = \dfrac{a_1}{2} = 84.8\text{mm}$

支座底板承压面积为

$$A_n = 240 \times 240 - \pi \times 20^2 - 2 \times 40 \times 50 = 52300\text{mm}^2$$

由公式（7-49）验算柱顶混凝土的抗压强度：

$$\frac{R}{A_n} = \frac{72.6 \times 10^3}{52300} = 1.39\text{N/mm}^2 < \beta_c f_c = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} f_c = \sqrt{\frac{240 \times 240}{52300}} \times 9.6 = 10\text{N/mm}^2$$（C20 混凝土，$f_c = 9.6\text{N/mm}^2$）。

支座底板的厚度按屋架反力作用下的弯矩计算，由公式（7-50）得

$$M = \beta q a_1^2$$

式中 $$q = \frac{R}{A_n} = \frac{R}{A - A_0} = 1.39\text{N/mm}^2$$

$$b_1/a_1 = \frac{84.8}{169.7} = 0.5$$

查表 7-6 得 $$\beta = 0.060$$

$$M = \beta q a_1^2 = 0.060 \times 1.39 \times 169.7^2 = 2401.8\text{N/mm}^2$$

支座底板厚度由公式（7-51）得

$$t \geqslant \sqrt{6M/f} = \sqrt{6 \times 2401.8/215} = 8.2\text{mm}$$，取 12mm。

B. 加劲肋与节点板的连接焊缝

假定一块加劲肋承受屋架支座反力的四分之一，即：

$$\frac{1}{4} \times 72.6 = 18.2\text{kN}$$

焊缝受剪力 $V = 18.2\text{kN}$，弯矩 $M = 18.2 \times \frac{120 - 20}{2} = 900\text{kN} \cdot \text{mm}$，设焊缝 $h_f = 6\text{mm}$，焊缝计算长度 $l_w = 160 - 20 \times 2 - 2h_f = 160 - 40 - 2 \times 6 = 108\text{mm}$

焊缝应力由公式（7-52）得

$$\sqrt{\left(\frac{V}{2 \times 0.7 \cdot h_f \cdot l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \times 0.7 \cdot \beta_f h_f \cdot l_w^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{18.2 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 108}\right)^2 + \left(\frac{6 \times 900 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 1.22 \times 6 \times 108^2}\right)^2}$$

$$= 49.4\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

C. 支座底板的连接焊缝

假定焊缝传递全部支座反力 $R = 72.6\text{kN}$，设焊缝 $h_f = 8\text{mm}$，支座底板的连接焊缝长度为

$$\Sigma l_w = 2 \times (240 - 2h_f) + 4 \times (120 - 4 - 10 - 2h_f)$$

$$= 2 \times (240 - 2 \times 8) + 4 \times (120 - 4 - 10 - 2 \times 8) = 808\text{mm}$$

由公式（7-53）得

$$\tau_f = \frac{R}{0.7\beta_f h_f \Sigma l_w} = \frac{72.6 \times 10^3}{0.7 \times 1.22 \times 8 \times 808} = 13.2\text{mm} < f_f^w = 0.95 \times 160 = 152\text{N/mm}^2$$，满足要求。

D. 上弦杆与节点板的连接焊缝

节点板与上弦的连接焊缝：节点板与上弦角钢肢背采用槽焊缝连接，假定槽焊缝只承受屋面集中荷载 P。$P = 11.16\text{kN}$。节点板与上弦角钢肢尖采用双面角焊缝连接，承担上弦内力差 ΔN。节点“1”槽焊缝 $h_{f1} = 0.5t_1 = 4\text{mm}$，其中 t_1 为节点板厚度。$l_w = 520 - 2h_{f1} = 520 - 2 \times 4 = 512\text{mm}$，由公式（7-36）得

$$\sigma_f = \frac{P}{2 \times 0.7 h_{f1} l_w} = \frac{11.16 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 4 \times 512} = 3.9\text{N/mm}^2 < f_f^w = 0.95 \times 160 = 152\text{N/mm}^2$$

可见，塞焊缝一般不控制，仅需验算肢尖焊缝。

上弦采用不等边角钢，短肢相并，肢尖角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2} = 5\text{mm}$，则角钢肢尖角焊缝的计算长度 $l_w = 520 - 2 \times 5 = 510\text{mm}$，

上弦杆内力差 $N = -194.14\text{kN}$，偏心弯距 $M = N \cdot e$，$e = 55\text{mm}$，则由公式（7-37）及（7-38）得

$$\sigma_f = \frac{6M}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w^2} = \frac{6 \times 194.14 \times 10^3 \times 55}{2 \times 0.7 \times 5 \times 510^2} = 35.2\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f = \frac{N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w} = \frac{194.14 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 510} = 54.4\text{N/mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{35.2}{1.22}\right)^2 + 54.4^2} = 61.6\text{N/mm}^2 < f_f^w = 0.95 \times 160 = 152\text{N/mm}^2$$

可见，肢尖焊缝安全。

2）上弦节点“2”（见图 7-89）

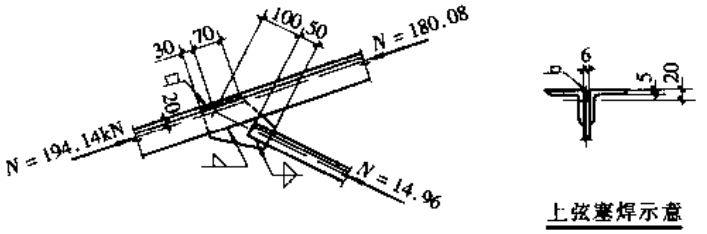


图 7-89　上弦节点“2”

节点板与上弦的连接焊缝：节点板与上弦角钢肢背采用槽焊缝连接，假定槽焊缝只承受屋面集中荷载 P。$P = 11.16\text{kN}$。节点板与上弦角钢肢尖采用双面贴角焊缝连接，承担上弦内力差 ΔN。节点“2”的塞焊缝不控制，仅需验算肢间焊缝。

上弦采用等边角钢，肢尖角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2} = 5\text{mm}$，则角钢肢尖角焊缝的计算长度 $l_w = 130 - 2h_f = 130 - 2 \times 5 = 120\text{mm}$。

弦杆相邻节间内力差 $\Delta N = -194.14 - (-180.08) = -14.06\text{kN}$，偏心弯矩 $M = \Delta N \cdot e$，$e = 55\text{mm}$，则由公式（7-37）及（7-38）得

$$\sigma_f = \frac{6M}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w^2} = \frac{6 \times 14.06 \times 10^3 \times 55}{2 \times 0.7 \times 5 \times 120^2} = 46.0\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w} = \frac{14.06 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 120} = 16.7\text{N/mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{46.0}{1.22}\right)^2 + 16.7^2} = 41.2\text{N/mm}^2 < f_f^w = 0.95 \times 160 = 152\text{N/mm}^2$$

可见，肢尖焊缝安全。

3）上弦节点“4”（见图 7-90）

因上弦杆间内力差小，节点板尺寸大，故不需要再验算。

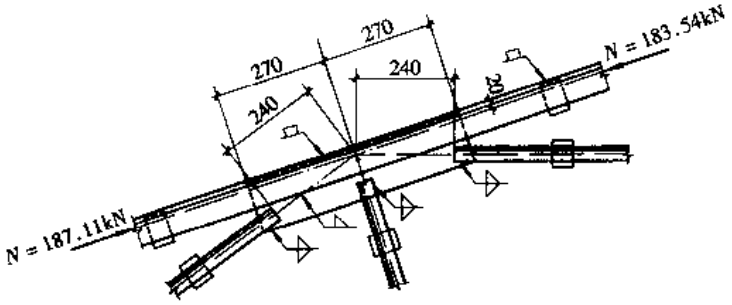


图 7-90　上弦节点“4”

4）屋脊节点“7”（图 7-91）

上弦杆节点荷载 P 假定由角钢肢背的塞焊缝承受，同上按构造要求考虑，即可满足，计算从略。

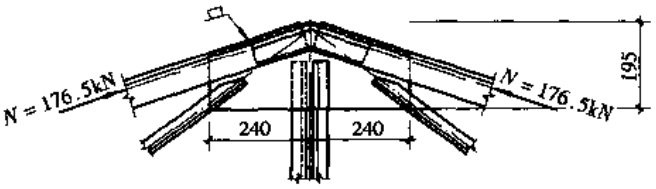


图 7-91 屋脊节点“7”

根据公式（7-42），上弦杆件与拼接角钢之间在接头一侧的焊缝长度为

$$l'_w = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{176.50 \times 10^3}{4 \times 0.7 \times 4 \times 0.95 \times 160} + 2 \times 4 = 111.7mm, 取\ 120mm。$$

采用拼接角钢长 $l \approx 2 \times 120 + 10 = 250mm$，实际拼接角钢总长可取为 300mm。

拼接角钢竖肢需切肢，实际切肢 $\Delta \approx t + h_f + 5 = 6 + 4 + 5 = 15mm$，切肢后剩余高度 $h - \Delta = 110 - 15 = 95mm$，水平肢上需设置安装螺栓。

上弦杆与节点板的连接焊缝按肢尖焊缝承受上弦杆内力的 15% 计算。角钢肢尖角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2} = 4mm$，则角钢肢尖角焊缝的计算长度 $l_w = 240 \times \frac{3.16}{3} - 2 \times 4 - 10 = 235mm$，$\Delta N = 15\% \times 176.50 = 26.5kN$，偏心弯距 $M = \Delta N \cdot e$，$e \approx 55mm$，则由公式（7.2-5）及（7.2-6）得

$$\sigma_f = \frac{6M}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w^2} = \frac{6 \times 26.5 \times 10^3 \times 55}{2 \times 0.7 \times 4 \times 235^2} \approx 28.2N/mm^2$$

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w} = \frac{26.5 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 4 \times 235} = 20.1N/mm^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{28.2}{1.22}\right)^2 + 20.1^2} = 30.6N/mm^2 < f_f^w = 0.95 \times 160 = 152N/mm^2$$

可见，肢尖焊缝安全。

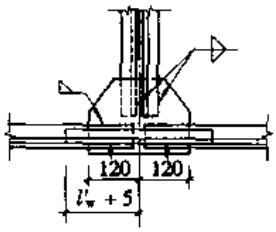


图 7-92 下弦拼接节点“10”

5）下弦拼接节点“10”（图 7-92）

拼接角钢与下弦杆用相同规格，选用┘└56 × 5，下弦杆与拼接角钢之间的角焊缝的焊脚尺寸采用 $h_f \approx 4mm$。根据公式（7-42）得下弦杆件与拼接角钢之间在接头一侧的焊缝长度为

$$l'_w = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{Af}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{10.83 \times 10^2 \times 0.95 \times 215}{4 \times 0.7 \times 4 \times 0.95 \times 160} + 2 \times 4 = 137.9mm$$

，取 140mm，拼接角钢的长度取为 $2l'_w + 10 = 290mm$。接头的位置视材料长度而定，最好设在跨中节点处，当接头不在节点时，应增设垫板。

下弦杆与节点板的连接焊缝接杆件内力的 15% 计算。设肢背焊缝的焊脚尺寸 $h_f = 4mm$，由公式（7-34）得焊缝长度为

$$l'_{w1} = \frac{0.70 \times 0.15 \times 100.48 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 4 \times 0.95 \times 160} + 2 \times 4 = 20.4mm，取\ 100mm$$

设肢尖焊缝的焊脚尺寸 $h_f = 4mm$，由公式（7-35）得焊缝长度为

$$l'_{w1} = \frac{0.30 \times 0.15 \times 100.48 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 4 \times 0.95 \times 160} + 2 \times 4 = 13.3mm$$

由以上计算可知，下弦角钢与节点板的连接焊缝长度是按构造要求确定的，取 100mm。

屋架、支撑平面布置图见图 7-93，安装节点见图 7-94，屋架详图见图 7-95、7-96。檩条 ZL 为 Z120 × 50 × 20 × 2.5，拉条 T 为 ϕ12，撑杆 G 为 $D30 \times 2$ 圆钢管，SC 为 L56 × 4，CC 弦杆为 2L63 × 4，腹杆为 L50 × 4 系杆 XG 为 L63 × 4。

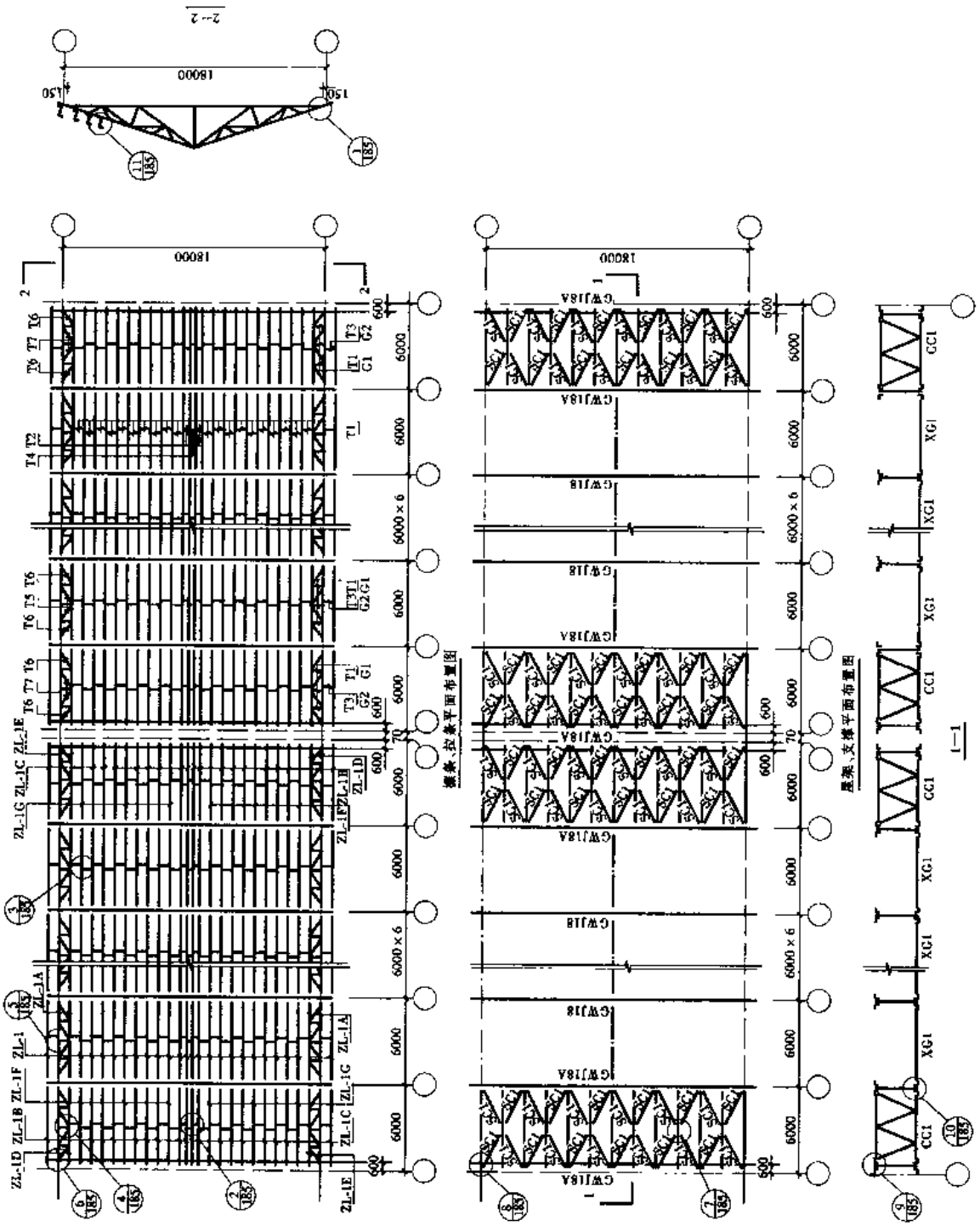
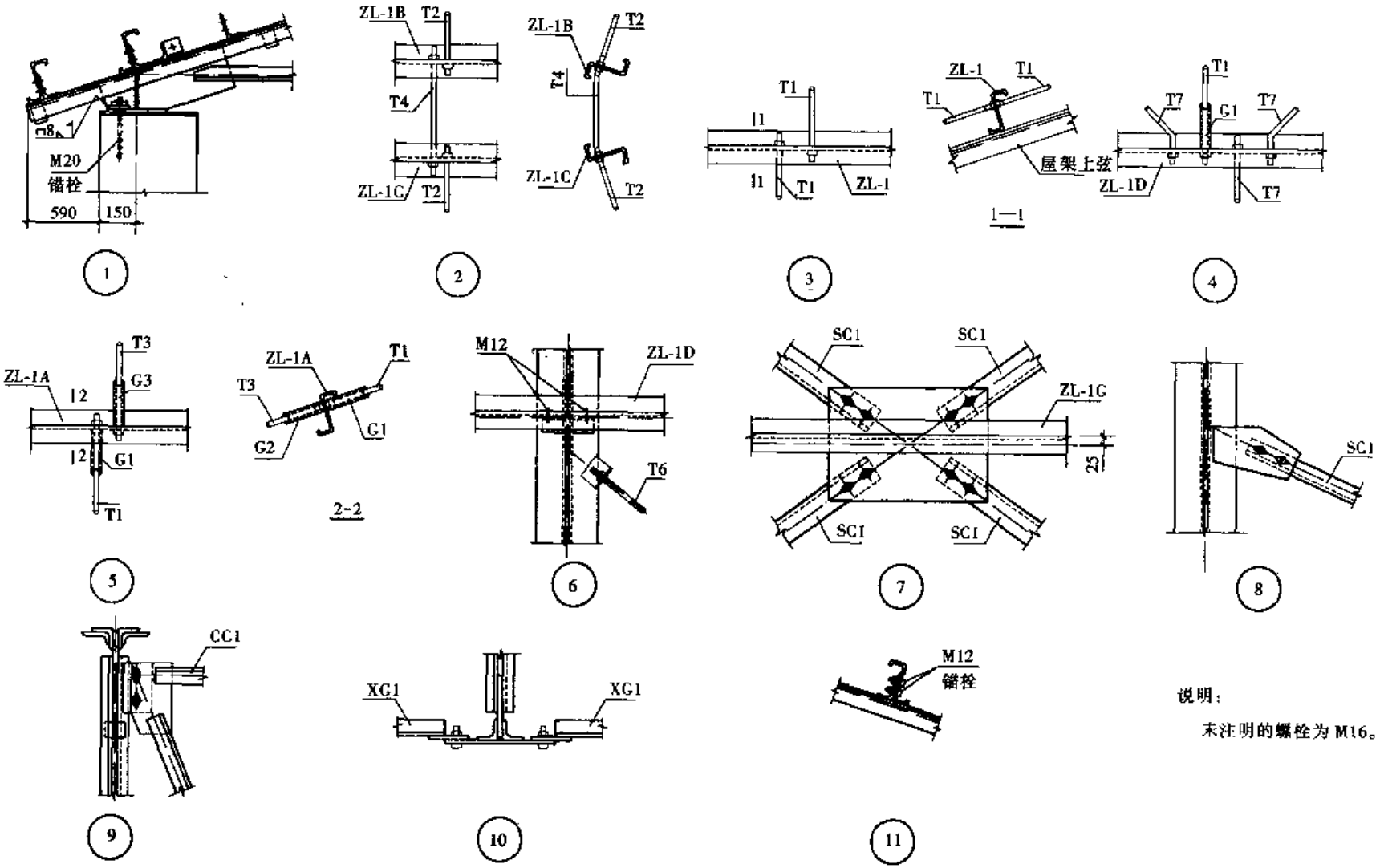


图 7-93　屋架、支撑平面布置图



说明：

未注明的螺栓为 M16。

图 7-94　安装节点

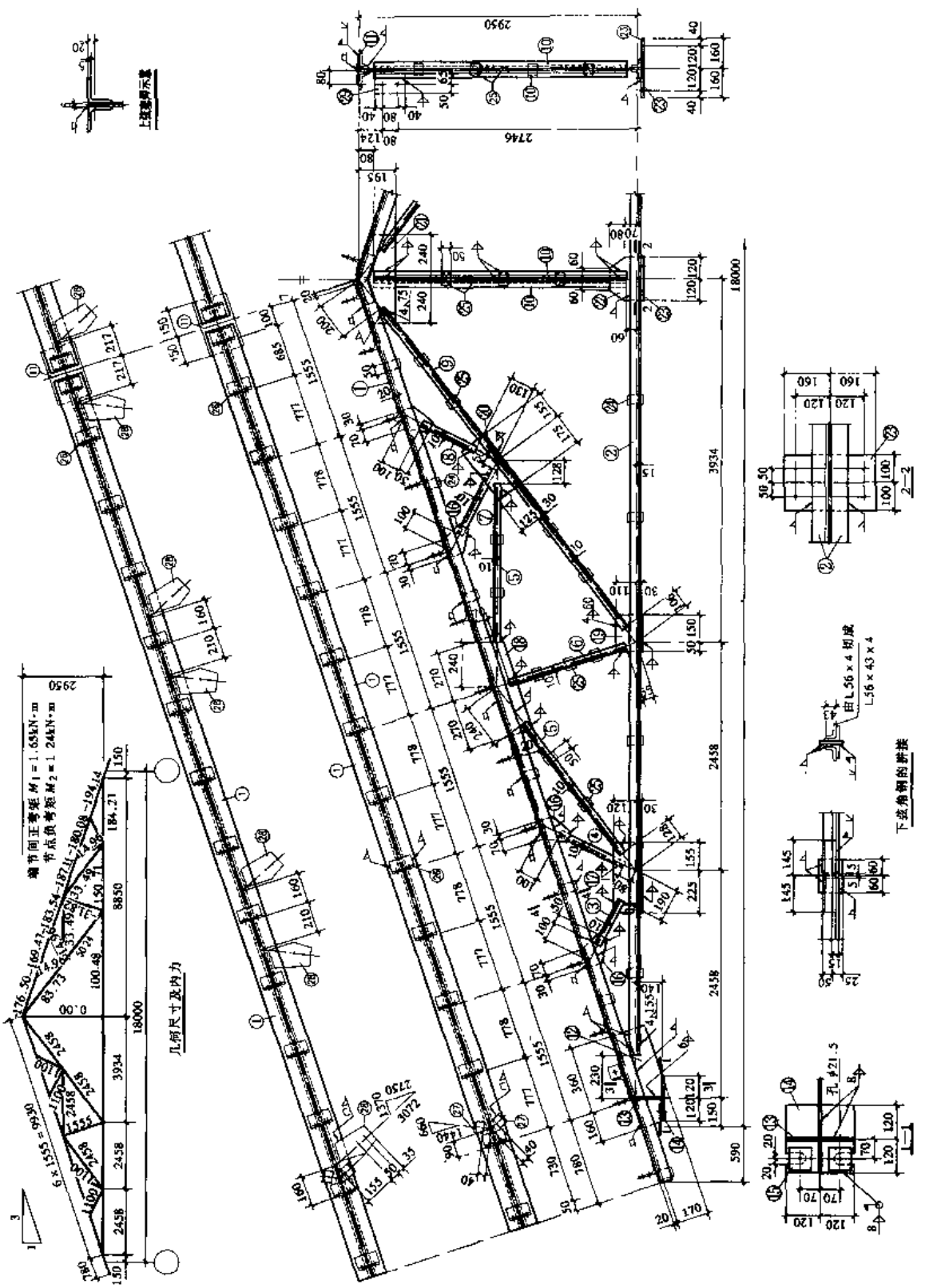
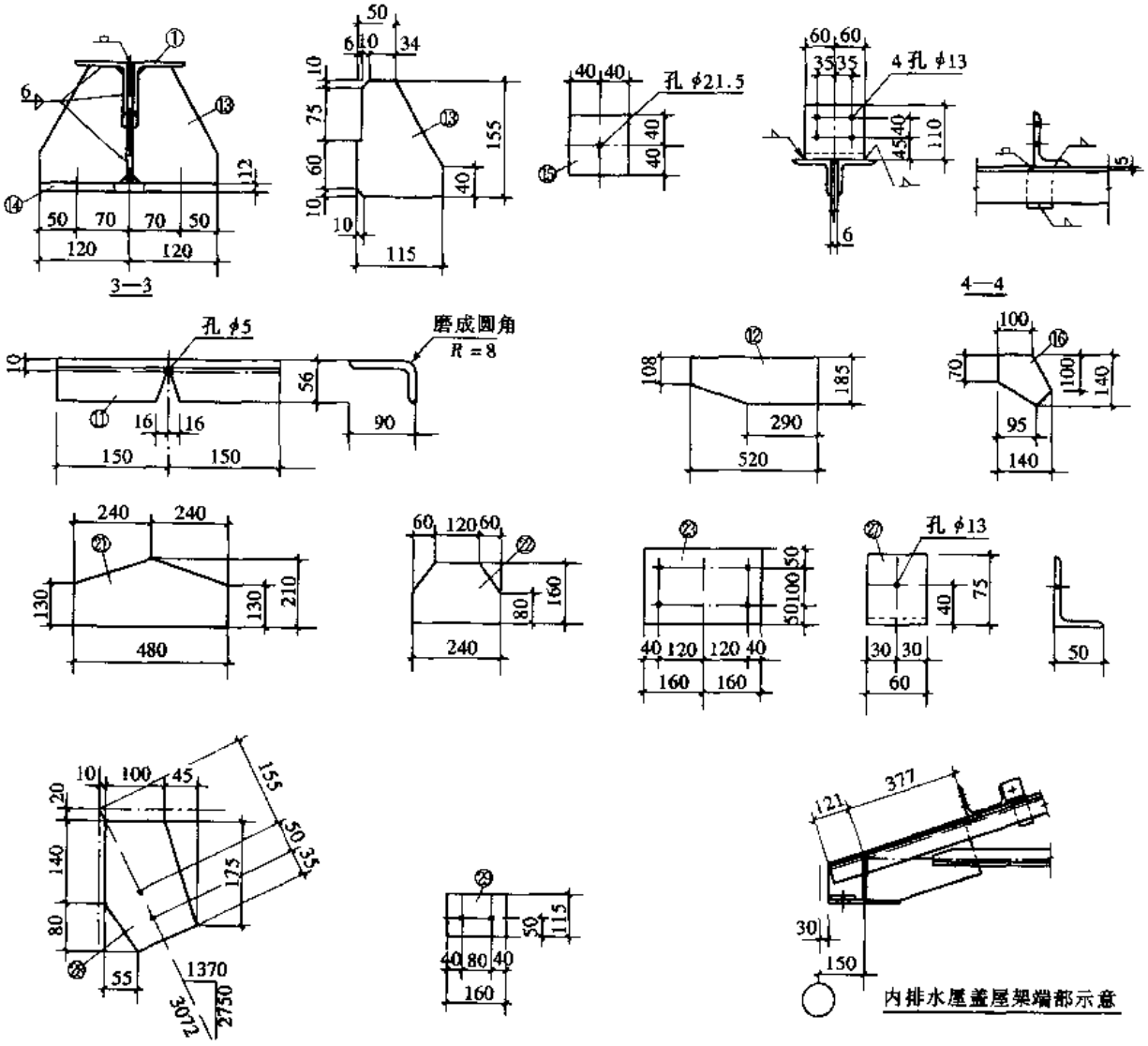


图 7-95　屋架详图（一）



构件编号	零件号	断面	长度 (mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
GWJ18	1	∟75×6	10090	4		69.7	278.8	644.6
	2	∟56×5	17240	2		73.3	146.6	
	3	∟40×4	810	2		2.0	4.0	
	4	∟40×4	920	2		2.2	4.4	
	5	∟30×4	2090	8		3.7	29.6	
	6	∟36×4	1420	4		3.1	12.4	
	7	∟40×4	950	2		2.3	4.6	
	8	∟40×4	870	2		2.1	4.2	
	9	∟36×4	4600	2	2	9.9	39.6	
	10	∟36×4	2810	2		6.8	13.6	
	11	∟90×56×6	300	2		2.0	4.0	
	12	−185×8	520	2		6.0	12.0	
	13	−115×8	155	4		1.1	4.4	
	14	−240×12	240	2		5.4	10.8	
	15	−80×14	89	4		0.7	2.8	
	16	−150×6	150	8		0.9	7.2	
	17	−150×6	380	2		2.7	5.4	
	18	−135×6	540	2		3.4	6.8	
	19	−140×6	200	2		1.3	2.6	
	20	−155×6	330	2		2.4	4.8	
	21	−210×6	480	1		4.7	4.7	
	22	−160×6	240	1		1.8	1.8	
	23	−200×6	320	1		3.0	3.0	
	24	−50×6	80	22		0.2	4.4	
	25	−50×6	60	29		0.1	2.9	
	26	∟110×70×6	120	28		1.0	28.0	
	27	∟75×50×6	60	4		0.3	1.2	
		1～27同 GWJ18					644.6	
GWJ18A	28	−145×6	220	12		1.5	18.0	663.5
	29	−115×6	160	1		0.9	0.9	

附注：1. 钢材采用 Q235B，焊条采用 E43 型。

2. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 4mm，一律满焊。

3. 未注明的螺栓为 M16，孔为 φ17。

4. 下弦角钢的拼接位置，按材料长度确定，尺量位于下弦内力较小节间。如在节点处拼接，可利用节点板兼作垫板；当屋架运输单元需按半榀考虑时；下弦角钢的拼接位置可在跨中或其相邻节点处，并在上、下弦角钢拼接处设置安装螺栓和安装焊缝。

图 7-96　屋架详图（二）

【例题 7-8】　21m 梯形角钢屋架计算

1. 设计资料

某工程为跨度 21m 的单跨双坡封闭式厂房，厂房长 120m。采用梯形钢屋架，屋面坡度为 $i = 1/10$，屋架间距为 6m，屋架铰支于钢筋混凝土柱柱顶，有 2 台 5t 重级工作制吊车（A6），外天沟。屋架下弦标高为 10m，屋面材料采用金属夹芯板，C 型檩条，檩距 1.5m。地面粗糙度类别为 B 类，结构重要性系数为 $\gamma_0 = 1.0$，抗震设防烈度为 7 度。基本风压 $w_0 = 0.50\text{kN/m}^2$，基本雪压 $s_0 = 0.30\text{kN/m}^2$。屋架钢材采用 Q235B，焊条采用 E43 型。

2. 屋架形式及几何尺寸

梯形屋架结构布置图及剖面图如图 7-97。檩条支承于屋架上弦节点。均为节点荷载。经计算可知，屋架坡角（上弦与下弦之间的夹角）为 $\alpha = \text{arctg}\dfrac{1}{10} = 5°42'38''$，檩距为 1.508m，水平投影间距为 $1.508 \times \cos 5°42'38'' = 1.500\text{m}$。

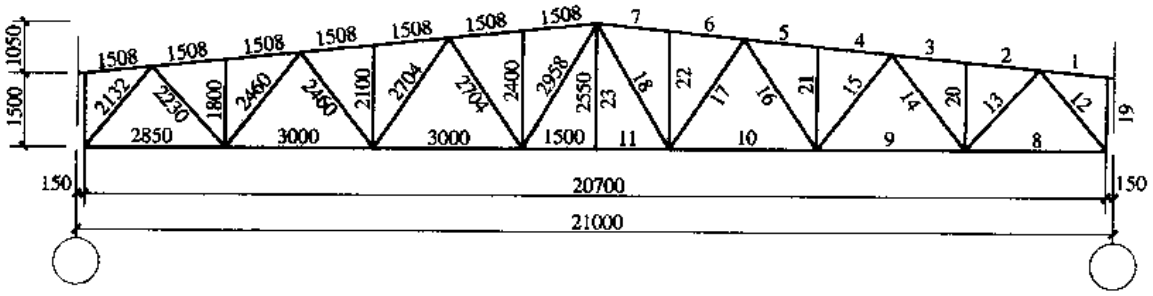


图 7-97　屋架形式及几何尺寸

3. 支撑布置

依据《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001，支撑布置见图 7-98，上弦横向水平支撑设置在房屋两端及伸缩缝处第一开间内，并在相应开间屋架跨中设置竖向支撑，在其余开间展架下弦跨中设置一通长水平系杆，上弦横向水平支撑在节点处设通长系杆。故上弦杆在屋架平面外的计算长度等于横向支撑的节距；下弦杆在屋架平面外的计算长度为屋架跨度的一半。

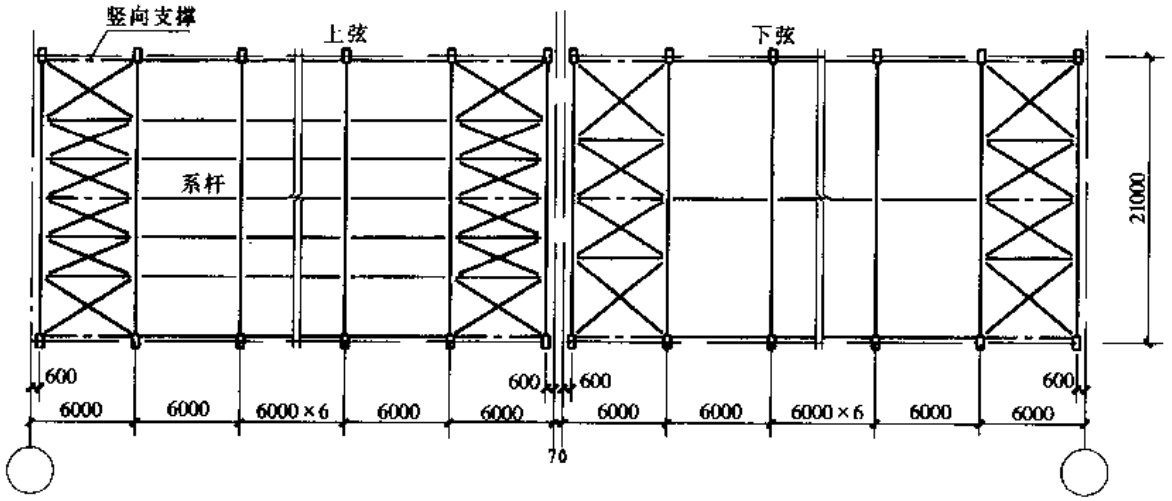


图 7-98　屋架支撑平面布置图

4. 荷载计算（标准值）

（1）永久荷载（恒荷载）：（对水平投影面）

夹芯板	$0.20/\cos5°42'38'' = 0.20kN/m^2$
檩条自重	$0.10kN/m^2$
屋架及支撑自重	$0.15kN/m^2$
悬挂管道等	$0.05kN/m^2$
合计	$0.50kN/m^2$

（2）可变荷载（活荷载）（对水平投影面）

1）屋面活荷载 $0.30kN/m^2$

2）雪荷载

基本荷载：$s_0 = 0.30kN/m^2$。据《建筑结构荷载规范》（GB 50009 —2001）表 6.2.1，由于 $\alpha = 5°42'38'' < 25°$，$\mu_r = 1.0$。雪荷载标准值 $s_k = \mu_r s_0 = 0.30kN/m^2$，雪荷载不与屋面活荷载同时组合，仅考虑两者中的较大作用。另据《建筑结构荷载规范》（GB50009—2001）表 6.2.1 注 1 可知，不考虑全跨积雪不均匀分布情况。

3）风荷载

基本风压：$w_0 = 0.50kN/m^2$

（3）荷载组合

1）恒荷载 + 雪（或活）荷载

2）恒荷载 + 半跨雪荷载

3）恒荷载 + 风荷载

4）屋架、檩条自重 + 半边（屋面板 + $0.30kN/m^2$ 吊装活荷载）

（4）上弦的集中荷载及节点荷载

由檩条传给屋架上弦的节点恒荷载见图 7-99。

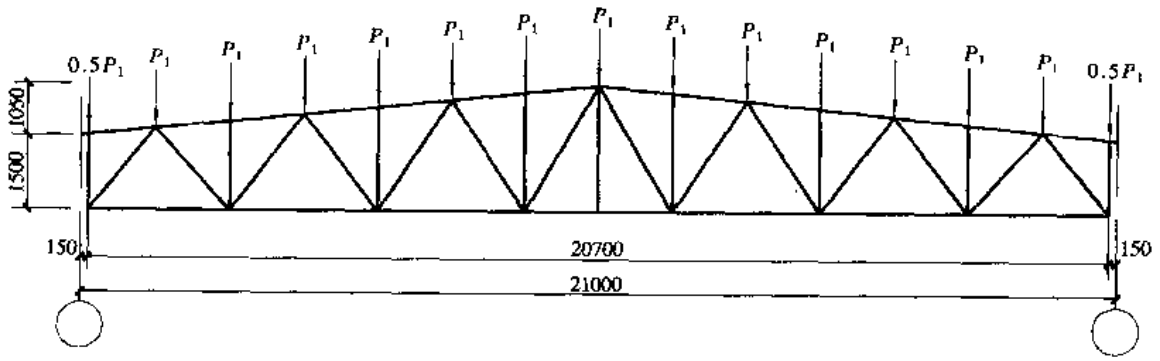


图 7-99 上弦节点恒荷载计算简图

由檩条传给屋架上弦的节点活荷载见图 7-100。

具体计算过程如下：

1）全跨屋面恒荷载

上弦集中恒荷载标准值

$$P_1 = 0.50 \times 1.5 \times 6 = 4.50kN$$

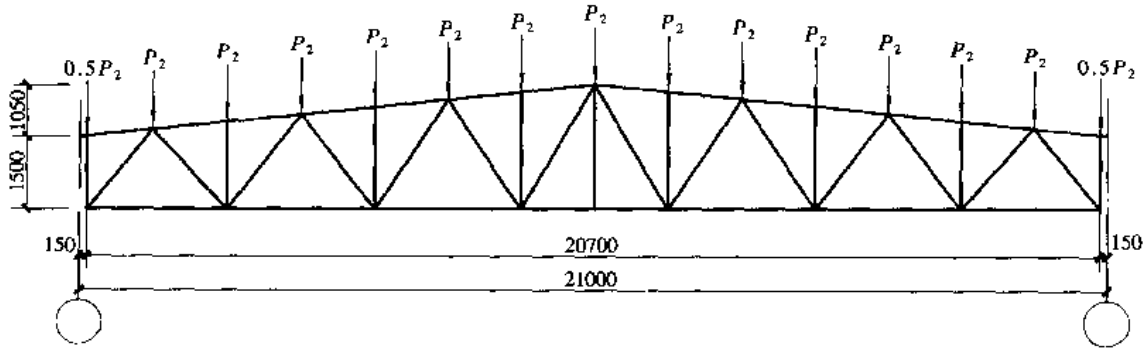


图 7-100　上弦节点活荷载计算简图

2）全跨屋面活荷载

上弦集中活荷载标准值

$$P_2 = 0.30 \times 1.5 \times 6 = 2.70\text{kN}$$

假定由可变荷载组合控制，则上弦节点荷载设计值为 $1.2 \times 4.50 + 1.4 \times 2.70 = 9.18\text{kN}$；若永久荷载组合控制，则上限节点荷载设计值为 $1.35 \times 4.50 + 1.4 \times 0.7 \times 2.70 = 8.72\text{kN}$。综上可知，本工程屋面荷载由可变荷载组合控制。

3）风荷载标准值

风载体型系数：背风面：$\mu_s = -0.5$，

迎风面：$\mu_s = -0.6$，

风压高度变化系数，（本设计地面粗糙度为 B 类，屋架下弦标高为 10.0m，坡度为 1/10，风压高度变化系数，$\mu_z \approx 1.00$，不计风振系数 β_z）

计算主要承重结构：$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$

背风面：$w_1 = 1.0 \times (-0.5) \times 1.0 \times 0.50 = -0.25\text{kN/m}^2$（垂直于屋面），为风吸力

迎风面：$w_2 = 1.0 \times (-0.6) \times 1.0 \times 0.50 = -0.30\text{kN/m}^2$（垂直于屋面），为风吸力

由檩条传给屋架的上弦节点风荷载标准值

$$W_1 = -0.25 \times 1.508 \times 6 = -2.26\text{kN}$$

$$W_2 = -0.30 \times 1.508 \times 6 = -2.71\text{kN}$$

风荷载计算简图见图 7-101。

5. 内力组合及截面选择

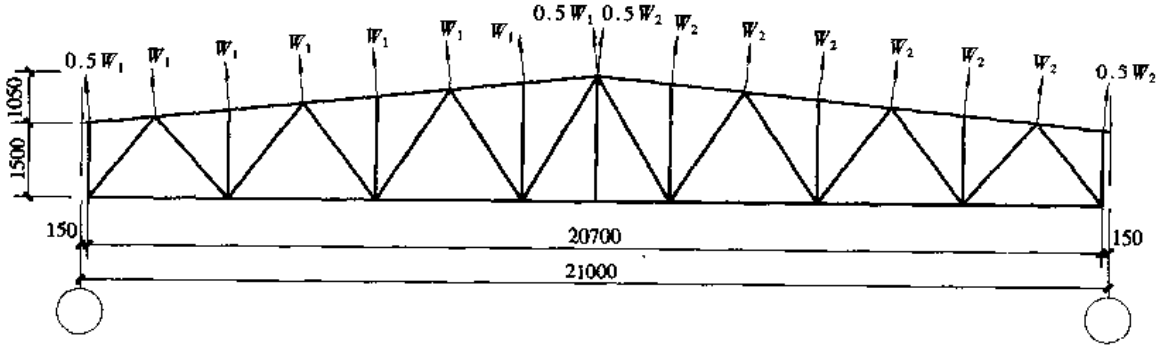


图 7-101　上弦节点风荷载计算简图

21m 屋架杆件内力组合表 表 7-15

杆件名称	杆件编号	全跨荷载		半跨荷载	风荷载		内力组合				最不利内力
		恒荷载内力标准值 (kN)	活荷载内力标准值 (kN)	半跨雪荷载内力标准值 (kN)	左风荷载内力标准值 (kN)	右风荷载内力标准值 (kN)	1.2恒+1.4活	1.2恒+1.4半跨雪	1.0恒-1.4左风	1.0恒-1.4右风	
上弦杆	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2、3	-42.8	-25.6	-18.2	18.4	15.3	-87.2	-76.8	-17.0	-21.4	-87.2
	4、5	-62.5	-37.5	-24.4	25.1	20.9	-127.5	-109.2	-27.4	-33.2	-127.5
	6、7	-66.0	-39.6	-22.3	23.1	19.3	-134.6	-110.4	-33.7	-39.0	-134.6
下弦杆	8	23.9	14.3	10.5	-11.3	-9.5	48.7	43.4	8.1	10.6	48.7
	9	54.9	32.9	22.5	-23.0	-19.2	111.9	97.4	22.7	28.0	111.9
	10	65.5	39.3	24.1	-24.3	-20.2	133.6	112.3	31.5	37.2	133.6
	11	63.1	37.9	18.9	-18.8	-18.8	128.8	102.2	36.8	36.8	128.8
斜腹杆	12	-37.8	-22.6	-16.6	16.4	13.7	-77.0	-68.6	-14.8	-18.6	-77.0
	13	27.7	17.1	11.8	-11.1	-9.2	57.2	49.8	12.2	14.8	57.2
	14	-20.2	-13.5	-8.5	6.9	5.8	-43.1	-36.1	-10.5	-12.1	-43.1
	15	12.0	9.6 -2.4	5.4 -2.4	-3.7	-4.4	32.9	27.0	6.8	5.8	32.9
	16	-6.0	-7.5	3.8 -3.4	3.5	4.2	-17.7	-14.6	-1.1	-0.1	-17.7
	17	0.2	5.2 -5.1	-5.1	3.7 -3.1	-3.7	7.6	-15.4	-1.1	-5.0	7.6 -15.4
	18	5.0	6.9 -3.9	6.9	-6.7	-5.6	17.7	17.7	-4.4	-2.8	17.7 -4.4
竖腹杆	19	-2.3	-1.4	-1.4	1.4	1.2	-4.7	-3.6	-0.3	-0.6	-4.7
	20	-4.5	-2.7	-2.7	2.7	2.3	-9.2	-7.0	-0.7	-1.3	-9.2
	21	-4.5	-2.7	-2.7	2.7	2.3	-9.2	-7.0	-0.7	-1.3	-9.2
	22	-4.5	-2.7	-2.7	2.7	2.3	-9.2	-7.0	-0.7	-1.3	-9.2
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

（1）内力组合见表 7-15。

假定杆件受拉符号为正，受压符号为负。

（2）截面选择

1）上弦杆 6、7

$$N_6 = N_7 = -134.6\text{kN},\ l_{0x} = 150.8\text{cm},\ l_{0y} = 301.6\text{cm},$$

选用截面┐┌75×50×5，两短肢相并

截面的几何特性：

截面面积：$A = 12.25\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 1.43\text{cm}$，$i_y = 3.60\text{cm}$

长细比：
$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{150.8}{1.43} = 105.5 < [\lambda] = 150，\text{属 } b \text{ 类截面。}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{301.6}{3.60} = 83.8 < [\lambda] = 150，\text{属 } b \text{ 类截面。}$$

由表 3-17 得：

$$b_1/t = \frac{75}{5} = 15 < 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{3016}{75} = 22.5$$

由表 3-17 中公式（3-53a）得

$$\lambda_{yz} = \lambda_y = 83.8$$

查表 14-3 得，$\varphi_x = 0.521$，$\varphi_{yz} = 0.662$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} = \frac{134.60 \times 10^3}{0.521 \times 12.25 \times 10^2} = 210.9\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2，\text{满足要求。}$$

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-10 的承载力设计值查得。$N_6 = N_7 = -134.6\text{kN}$，$l_{0x} = 150.8\text{cm}$，$l_{0y} = 301.6\text{cm}$，选用截面┐┌75×50×5，两短肢相并。平面内稳定承载力 $[N] = -137\text{kN}$；平面外稳定承载力 $[N] \approx -174\text{kN}$；均大于杆件内力 $N = -134.6\text{kN}$，满足要求。由平面内稳定控制。

上弦杆 2、3，尽管内力较小但平面外计算长度较大，需进行验算，与上弦杆 6、7 比较是否为控制杆件。

$$N_2 = N_3 = -87.2\text{kN},\ l_{0x} = 150.8\text{cm},\ l_{0y} = 452.4\text{cm},$$

选用截面┐┌75×50×5，两短肢相并

截面的几何特性：

截面面积：$A = 12.25\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 1.43\text{cm}$，$i_y = 3.60\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{150.8}{1.43} = 105.5 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{452.4}{3.60} = 125.7 < [\lambda] = 150，\text{属 } b \text{ 类截面。}$$

由表 3-17 得：

$$b_1/t = \frac{75}{5} = 15 < 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{4524}{75} = 33.8$$

由表 3-17 中公式（3-53a）得

$$\lambda_{yz} = \lambda_y = 125.7$$

查表 14-3 得，$\varphi_x = 0.521$，$\varphi_{yz} = 0.408$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{87.2 \times 10^3}{0.408 \times 12.25 \times 10^2} = 174.5 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-10 的承载力设计值查得。$N_2 = N_3 = -87.2\text{kN}$，$l_{0x} = 150.8\text{cm}$，$l_{0y} = 452.4\text{cm}$，选用截面┐┌75 × 50 × 5，两短肢相并。平面内稳定承载力［N］ = −137kN；平面外稳定承载力［N］ = −108kN；均大于杆件内力 $N = -87.2\text{kN}$，满足要求。由平面外稳定控制。

2）下弦杆 8 ~ 11

$$N = 133.6\text{kN}，\ l_{0x} = 300.0\text{cm}，\ l_{0y} = 1035\text{cm}$$

选用截面┘└75 × 50 × 5，两短肢相并

截面面积 $A = A_n = 12.25\text{cm}^2$，

回转半径：$i_x = 1.43\text{cm}$，$i_y = 3.60\text{cm}$

长细比：

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{300.0}{1.43} = 209.8 < [\lambda] = 350$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{1035}{3.60} = 287.5 < [\lambda] = 350$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A_n} = \frac{133.6 \times 10^3}{12.25 \times 10^2} = 109.1 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$$，满足要求。

3）斜腹杆

支座斜腹杆 12

$$N = -77.0\text{kN}，\ l_{0x} = l_{0y} = l = 213.2\text{cm}$$

选用截面┐┌56 × 5

截面的几何特性：

截面面积：$A = 10.83\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 17.72\text{cm}$，$i_y = 2.54\text{cm}$

长细比：

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{213.2}{1.72} = 124.0 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{213.2}{2.54} = 83.9 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b/t=\frac{56}{5}=11.2<0.58l_{0y}/b=0.58\times\frac{2132}{56}\approx22.1$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得：

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=83.9\times\left(1+\frac{0.475\times56^4}{2132^2\times5^2}\right)=87.3$$

查表 14-3 得，$\varphi_x=0.416$，$\varphi_{yz}=0.639$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{\varphi_{\min}A}=\frac{77.0\times10^3}{0.416\times10.83\times10^2}=170.9\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-9 的承载力设计值查得。$N=-77.0$kN，$l_{0x}=l_{0y}=l=213.2$cm，选用截面┐┌56×5。平面内稳定承载力[N]≈ −97kN；平面外稳定承载力[N]≈ −149kN；均大于杆件内力 $N=-77.0$kN，满足要求。由平面内稳定控制。

4）斜腹杆 13

$$N\approx57.2\text{kN}，\ l_{0x}=0.8l\approx0.8\times223.0=178.4\text{cm}，\ l_{0y}=l=223.0\text{cm}$$

选用截面┐┌50×5

截面的几何特性：

截面面积：$A=A_n=9.61\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=1.53$cm，$i_y=2.30$cm

长细比：

$$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{178.4}{1.53}=116.6<[\lambda]=350$$

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{223.0}{2.30}=97.0<[\lambda]=350$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma=\frac{N}{A_n}=\frac{57.2\times10^2}{9.61\times10^2}=59.5\text{N/mm}^2<f\approx215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

5）斜腹杆 14

$$N=-43.1\text{kN}，\ l_{0x}=0.8l=0.8\times246.0=196.8\text{cm}，\ l_{0y}=l=246.0\text{cm}$$

选用截面┐┌50×5

截面的几何特性：

截面面积：$A=9.61\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=1.53$cm，$i_y=2.30$cm

长细比：$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{196.8}{1.53}=128.6<[\lambda]=150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{246.0}{2.30}=107.0<[\lambda]=150$$，属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b/t=\frac{50}{5}=10<0.58l_{0y}/b=0.58\times\frac{2460}{50}=28.5$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得：

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=107.0\times\left(1+\frac{0.675\times50^4}{2460^2\times5^2}\right)=109.1<[\lambda]=150$$

查表 14-3 得，$\varphi_x=0.394$，$\varphi_{yz}=0.498$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{43.1\times10^3}{0.394\times9.61\times10^2}=113.8\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-9 的承载力设计值查得。$N=-43.1$kN，$l_{0x}=196.8$cm，$l_{0y}=l=246.0$cm。选用截面┐┌50×5。平面内稳定承载力［N］$=-81$kN；平面外稳定承载力［N］$=-103$kN；均大于杆件内力 $N=-43.1$kN，满足要求。由平面内稳定控制。

6）斜腹杆 15

$$N=32.9\text{kN},\ l_{0x}=0.8l=0.8\times246.0=196.8\text{cm},\ l_{0y}=l=246.0\text{cm}$$

选用截面┐┌50×5

截面的几何特性：

截面面积：$A=A_n=9.61\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=1.53$cm，$i_y=2.30$cm

长细比：$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{196.8}{1.53}=128.6<[\lambda]=350$

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{246.0}{2.30}=107.0<[\lambda]=350$$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{A_n}=\frac{32.9\times10^3}{9.61\times10^2}=34.2\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

7）斜腹杆 16

$$N=-17.7\text{kN},\ l_{0x}=0.8l=0.8\times270.4=216.3\text{cm},\ l_{0y}=l=270.4\text{cm}$$

选用截面┐┌50×5，

截面的几何特性：

截面面积：$A=9.61\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=1.53$cm，$i_y=2.30$cm

长细比：$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{216.3}{1.53}=141.4<[\lambda]=150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{270.4}{2.30}=117.6<[\lambda]=150$$，属 b 类截面。

因内力较小，不再一一验算，其结果见表 7-16。

其他腹杆计算雷同，不再赘述。

6. 屋架节点连接计算

（1）腹杆与节点板的连接焊缝

肢背、肢尖焊缝长度由公式（4-20）、（4-21）计算，结果见表 7-17。

GWJ21 屋架杆件截面选用表 表 7-16

杆件名称	杆件编号	内力 (kN)	截面规格 (mm)	截面面积 (cm^2)	计算长度 l_{0x} (cm)	计算长度 l_{0y} (cm)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	长细比 λ_x	长细比 λ_y	长细比 λ_{yz}	稳定系数 φ_{min}	强度 (N/mm^2)	稳定性 (N/mm^2)	容性长细比 $[\lambda]$	强度设计值 (N/mm^2)
上弦杆	6~7	-134.6	2L75×50×5	12.25	150.8	301.6	1.43	3.60	105.4	83.8	83.8	0.521		210.9	150	215
下弦杆	8~11	133.6	2L75×50×5	12.25	300.0	1035.0	1.43	3.60	209.8	287.5			109.1		350	215
斜腹杆	12	-77	2L56×5	10.83	213.2	213.2	1.72	2.54	124.0	83.9	87.3	0.416		170.9	150	215
	13	57.2	2L50×5	9.61	178.4	223.0	1.53	2.30	116.6	97.0			59.5		350	215
	14	-43.1	2L50×5	9.61	196.8	246.0	1.53	2.30	128.6	107.0	109.1	0.394		113.8	150	215
	15	32.9	2L50×5	9.61	196.8	246.0	1.53	2.30	128.6	107.0			34.2		350	215
	16	-17.7	2L50×5	9.61	216.3	270.4	1.53	2.30	141.4	117.6	119.5	0.339		54.3	150	215
	17	7.6 -15.4	2L50×5	9.61	216.3	270.4	1.53	2.30	141.4	117.6	119.5	0.339		19.6	150	215
	18	17.7 4.4	2L50×5	9.61	236.6	295.8	1.53	2.30	154.6	128.6			18.4		350	215
竖腹杆	19	-4.7	2L50×5	9.61	151.5	151.5	1.53	2.30	99.0	65.9	69.3	0.561		8.7	150	215
	20	-9.2	2L50×5	9.61	144.0	180.0	1.53	2.30	94.1	78.3	81.2	0.592		16.2	150	215
	21	-9.2	2L50×5	9.61	168.0	210.0	1.53	2.30	109.8	91.3	93.8	0.494		19.4	150	215
	22	-9.2	2L50×5	9.61	192.0	240.0	1.53	2.30	125.5	104.3	106.5	0.409		23.4	150	215
	23	0	┼56×5	10.8	229.5	229.5	2.17		105.8						150	215

注：按表 7.2-3 查得连接板厚 6mm，支座处连接板厚 8mm。

GWJ21 腹杆与节点板连接焊缝 表 7-17

杆件名称	杆件编号	杆件内力（kN）	截面规格	肢背焊脚尺寸 h_{f1}（mm）	肢背焊脚长度 l_{w1}（mm）	肢尖焊脚尺寸 h_{f2}（mm）	肢尖焊脚长度 l_{w2}（mm）
斜腹杆	12	-77.0	2L56×5	5	70	5	70
	13	57.2	2L50×5	5	70	5	70
	14	-43.1	2L50×5	5	70	5	70
	15	32.9	2L50×5	5	70	5	70
	16	-17.7	2L50×5	5	70	5	70
	17	-15.4	2L50×5	5	70	5	70
	18	17.7	2L50×5	5	70	5	70
竖腹杆	19	-4.6	2L50×5	5	70	5	70
	20	-9.2	2L50×5	5	70	5	70
	21	-9.2	2L50×5	5	70	5	70
	22	-9.2	2L50×5	5	70	5	70
	23	0	┼ 56×5	5	70	5	70

注：1. 表中不包括上弦杆的偏心连接和支座板的焊缝计算。

2. 表中 l_w 为设计值，已包括 $2h_f$ 在内。

（2）节点设计

1）节点编号（见图 7-102）

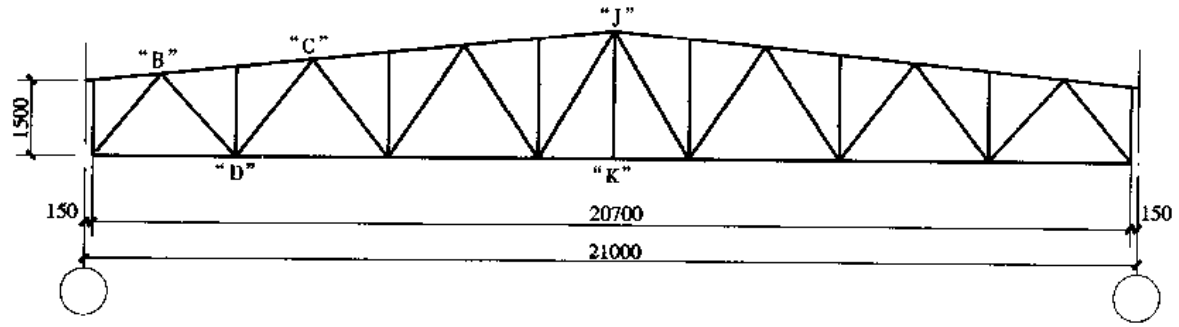


图 7-102 节点编号

2）一般节点

根据所汇交腹杆端部的焊缝设计长度在大样图中放样确定节点板的尺寸，然后按公式（7-36）～（7-39）验算弦杆焊缝。

A. 节点“B”计算：（见图 7-103）

节点“B”上弦内力差为最大。节点板与上弦的连接焊缝：节点板与上弦角钢肢背采用槽焊缝连接，假定槽焊缝只承受屋面集中荷载 P。$P=9.18$kN。节点板与上弦角钢肢尖采用双面贴角焊缝连接，承担上弦内力差 ΔN。

（A）节点“B”槽焊缝 $h_{f1}=0.5t_1=3$mm，$l_w=290-2h_{f1}=290-2\times3=284$mm，其中 t_1 为节点板厚度。由公式（7-36）得

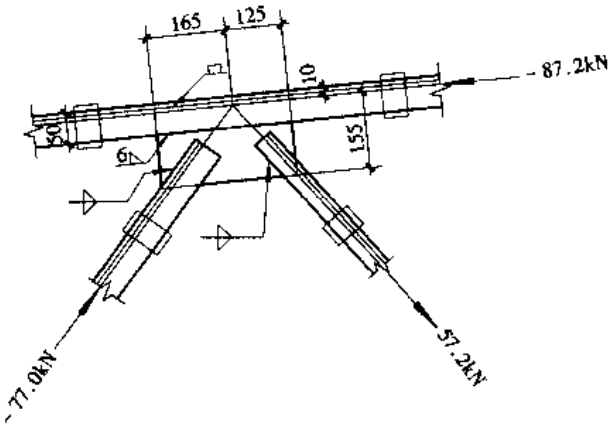


图 7-103　节点“B”图

$$\sigma_f = \frac{P}{2\times 0.7 h_{f1} l_w} = \frac{9.18\times 10^3}{2\times 0.7\times 3\times 284}$$
$$= 7.7\text{N/mm}^2 < f_f^w$$
$$= 0.8\times 160 = 128\text{N/mm}^2$$

可见，塞焊缝一般不控制，仅需验算肢间焊缝。

（B）上弦采用不等边角钢，短肢相并，肢尖角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2}=6\text{mm}$，则角钢肢尖角焊缝的计算长度 $l_w = 290 - 2\times 6 = 278\text{mm}$，

弦杆相邻节间内力差 $\Delta N = -87.2 - 0 = -87.2\text{kN}$，偏心弯矩 $M = \Delta N \cdot e$，$e = 40\text{mm}$，则由公式（7-37）及（7-38）得

$$\sigma_f = \frac{6M}{2\times 0.7 h_{f2} l_w^2} = \frac{6\times 87.2\times 10^3\times 40}{2\times 0.7\times 6\times 278^2} = 32.2\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2\times 0.7 h_{f2} l_w} = \frac{87.2\times 10^3}{2\times 0.7\times 6\times 278} = 37.3\text{N/mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{32.2}{1.22}\right)^2 + 37.3^2} = 45.7\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

可见，肢尖焊缝安全。

B. 节点“C”计算（见图 7-104）

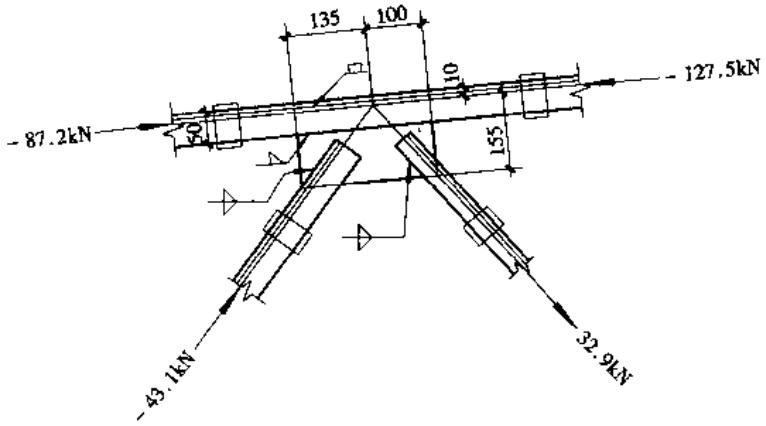


图 7-104　节点“C”图

节点“C”上弦采用不等边角钢，短肢相并，肢尖角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2}=5\text{mm}$，角钢肢尖角焊缝的计算长度 $l_w = 240 - 2\times 5 = 230\text{mm}$，弦杆相邻节间内力差为 $\Delta N = -127.5 - (-87.2) = -40.3\text{kN}$，

偏心弯距 $M = \Delta N \cdot e$，$e = 40\text{mm}$，则由公式（7-37）及（7-38）得

$$\sigma_f = \frac{6M}{2\times 0.7 h_{f2} l_w^2} = \frac{6\times 40.3\times 10^3\times 40}{2\times 0.7\times 5\times 230^2} = 26.1\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w} = \frac{40.3 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 230} = 25.0\text{N/mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{26.1}{1.22}\right)^2 + 25.0^2} = 32.9\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

可见，肢尖焊缝安全。

C. 节点“D”计算（见图 7-105）

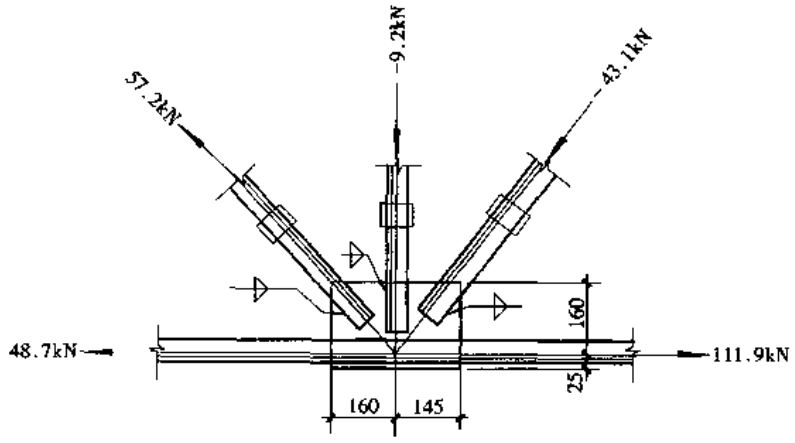


图 7-105 节点“D”图

下弦杆与节点板的连接焊缝焊脚尺寸 $h_f = 5\text{mm}$，焊缝所受的力为左右两下弦杆内力差 $\Delta N = 111.9 - 48.7 = 63.2\text{kN}$，由公式（7-34）得受力较大的肢背处焊缝长度为

$$l_{w2} \geqslant \frac{k_1 \Delta N}{2 \times 0.7 h_f f_f^w} = \frac{0.75 \times 63.2 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160} = 43\text{mm}$$

3）拼接节点

A. 下弦拼接节点“K”（见图 7-106）

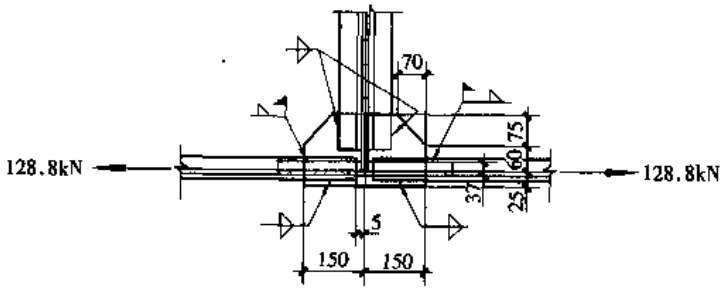


图 7-106 下弦拼接节点“K”图

跨度为 21m 的屋架可分两个运输单元，在跨中节点采用工地焊缝拼接。左半边的弦杆和腹杆与节点板连接用工厂焊缝，而右半边的弦杆和腹杆与节点板连接用工地焊缝。下弦杆为⌟L75 × 50 × 5，拼接角钢与下弦杆用相同规格，下弦杆与拼接角钢之间的角焊缝的焊脚心寸采用 $h_f = 5\text{mm}$，则竖肢切去 $\Delta = t + h_f + 5 = 5 + 5 + 5 = 15\text{mm}$。根据公式（7-42）得下弦杆件与拼接角钢之间在接头一侧的焊缝长度为

$$l'_w = \frac{N}{4\times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{Af}{4\times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{12.25\times 10^2\times 215}{4\times 0.7\times 5\times 160} + 2\times 5 = 128\text{mm}$$

拼接角钢的长度取 310mm > 2 × 128 + 10 = 266mm。

下弦杆与节点板的连接焊缝按杆件内力的 15% 计算。设肢背焊缝的焊脚尺寸 h_f = 5mm，由公式（7-34）得焊缝长度为

$$l'_{w1} = \frac{0.75\times 0.15\times 128.8\times 10^3}{2\times 0.7\times 5\times 160} + 2\times 5 = 23\text{mm}$$

设肢尖焊缝的焊脚尺寸 h_f = 5mm，由公式（7-35）得焊缝长度为

$$l'_{w1} = \frac{0.25\times 0.15\times 128.8\times 10^3}{2\times 0.7\times 5\times 160} + 2\times 5 = 14\text{mm}$$

由以上计算可知，下弦角钢与节点板的连接焊缝长度是按构造要求确定的。

为便于拼接节点施焊前的定位，拼接角钢两侧和在视图方向右方腹杆上布置安装螺栓（图 7-140），竖肢切割后尺寸较小时，不设安装螺栓。

B. 上弦拼接节点“J”（见图 7-107）

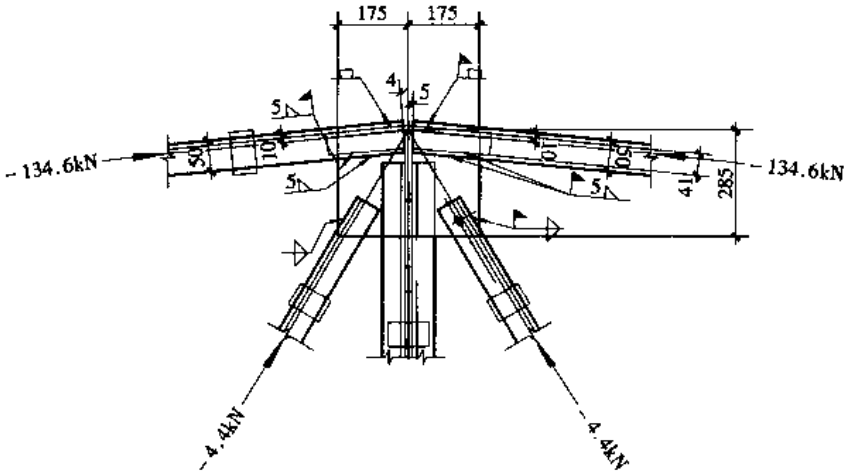


图 7-107　上弦拼接节点“J”图

上弦杆起拱后，坡度为 1/9.6，上弦杆采用┐┌75 × 50 × 5 拼接角钢采用与上弦相同的角钢，热弯成型，角焊缝用 h_f = 5mm，按轴心受压等强度设计（也可按最大的截面承载力设计值设计）。

拼接角钢全截面承载力为

$$[N] = \varphi Af = 0.408\times 12.25\times 10^2\times 215 = 107.5\text{kN}$$

根据公式（7-42）得上弦杆件与拼接角钢之间在接头一侧的焊缝长度为

$$l'_w = \frac{N}{4\times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{[N]}{4\times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{107.5\times 10^3}{4\times 0.7\times 5\times 160} + 2\times 5 = 48\text{mm}$$

采用拼接角钢半长为 48 + 5 = 53mm，总长 l = 2 × 53 = 106mm，实际拼接角钢总长为 2 × 180 = 360mm。

拼接角钢竖肢需切肢，实际切肢 $\Delta = t + h_f + 5 = 5 + 5 + 5 = 15\text{mm}$，切肢后剩余高度 $h - \Delta = 50 - 15 = 35\text{mm}$，竖肢上可不设置安装螺栓。

上弦杆与节点板的连接焊缝按肢尖焊缝承受上弦杆内力的15%计算。角钢肢尖角焊缝的焊脚尺寸 $h_{f2} = 5\text{mm}$，则角钢肢尖角焊缝的计算长度 $l_w = 175 - 2 \times 5 - 5 = 160\text{mm}$，$\Delta N = 15\% \times 134.6 = 20.2\text{kN}$，偏心弯距 $M = \Delta N \cdot e$，$e = 40\text{mm}$，则由公式(7-37)及(7-38)得

$$\sigma_f = \frac{6M}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w^2} = \frac{6 \times 20.2 \times 10^3 \times 40}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160^2} = 27.1\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_w} = \frac{20.2 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160} = 18.0\text{N/mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{27.1}{1.22}\right)^2 + 18.0^3} = 28.6\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

可见，肢尖焊缝安全。

4）支座节点“g”（见图7-108）

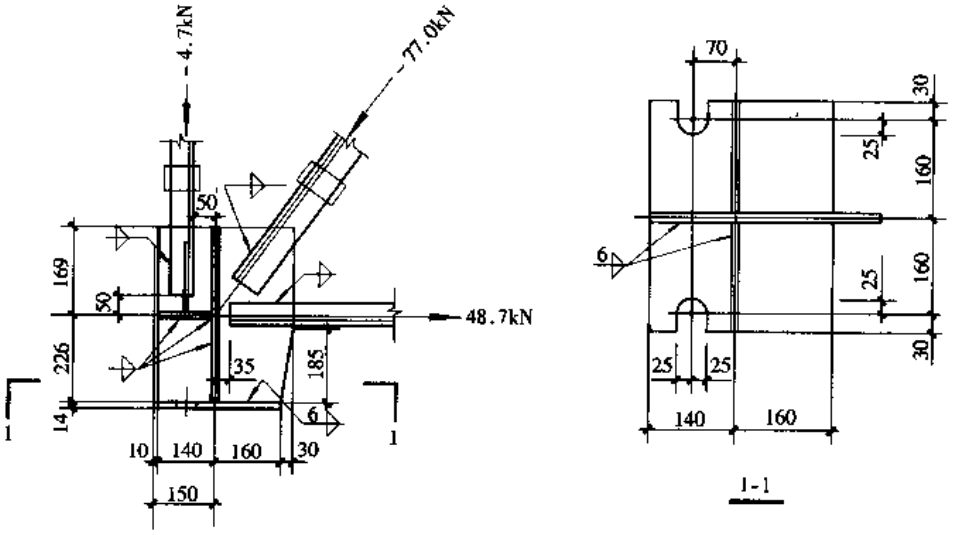


图7-108 支座节点“g”图

为了便于施焊，下弦杆肢背与支座底板顶面的距离取155mm，锚栓用2M20，栓孔位置尺寸见图7-108。在节点中心线上设置加劲肋，加劲肋高度与节点板高度相等。

A. 支座底板计算

支座反力 $R = 7\ (P_1 + P_2) = 7 \times (4.5 \times 1.2 + 2.7 \times 1.4) = 64.3\text{kN}$

支座底板的平面尺寸 $A_l = 300 \times 380 \approx 114000\text{mm}^2$

柱截面尺寸 $A_b = 300 \times 400 = 120000\text{mm}^2$

由公式（7-49）验算柱顶混凝土的抗压强度：

$$\frac{R}{A_{ln}} = \frac{R}{A_l - A_0} = \frac{64.3 \times 10^3}{114000 - (50 \times 30 \times 2 + \pi \times 25^2)} = 0.59\text{N/mm}^2$$

$$< \beta_c f_{cc} = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} f_{cc} = \sqrt{\frac{120000}{114000}} \times 8.16 = 8.4\text{N/mm}^2$$

（C20 混凝土，$f_c = 9.6\text{N/mm}^2$，$f_{cc} = 0.85 \times 9.6 = 8.16\text{N/mm}^2$）

支座底板的厚度按屋架反力作用下的弯矩计算，由公式（7-50）得

$$M = \beta q a_1^2$$

式中

$$q = \frac{R}{A_{ln}} = \frac{R}{A_l - A_0} = 0.59\text{N/mm}^2$$

$$a_1 = \sqrt{(190-4)^2 + (160-4)^2} = 243\text{mm},\quad b_1 = (160-4) \times \frac{190-4}{243} = 119\text{mm}$$

$$b_1 / a_1 = \frac{119}{238} = 0.490$$

查表 7-10 得

$$\beta = 0.058$$

$$M = \beta q a_1^2 = 0.058 \times 0.59 \times 243^2 = 2021\text{N/mm}^2$$

支座底板厚度由公式（7-51）得

$$t \geqslant \sqrt{6M/f} = \sqrt{6 \times 2021/215} = 7.5\text{mm}，\text{取 } 14\text{mm}。$$

B. 加劲肋与节点板的连接焊缝

假定一块加劲肋承受屋架支座反力的四分之一，即：

$$\frac{1}{4} \times 64.3 = 16.1\text{kN}$$

焊缝受剪力 $V = 16.1\text{kN}$，弯矩 $M = 16.1 \times \frac{190-4}{2} = 1497.3\text{kN·mm}$，设焊缝 $h_f = 5\text{mm}$，焊缝计算长度 $l_w = 400 - 15 - 2h_1 = 400 - 15 - 2 \times 5 = 375\text{mm}$

焊缝应力由公式（3-52）得

$$\sqrt{\left(\frac{V}{2 \times 0.7 \cdot h_f \cdot l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \times 0.7 \cdot \beta_f h_f \cdot l_w^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{16.1 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 375}\right)^2 + \left(\frac{6 \times 1497.3 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 1.22 \times 5 \times 375^2}\right)^2}$$

$$= 9.7\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

C. 支座节点板、加劲肋与底板的连接焊缝

假定焊缝传递全部支座反力 $R = 64.3\text{kN}$，

支座节点板与底板的连接焊缝长度为

$\Sigma l_w = 2 \times (300 - 2h_f) = 2 \times (300 - 2 \times 5) = 580\text{mm}$，由公式（7-53）得

$$h_f = \frac{R/2}{0.7\beta_f \Sigma l_w f_f^w} = \frac{64.3/2 \times 10^3}{0.7 \times 1.22 \times 580 \times 160} = 0.4\text{mm}，\text{采用 } h_f = 6\text{mm}$$

每块加劲肋与底板的连接焊缝长度为

$\Sigma l_w = 2 \times (185 - 15 - 2h_f) = 2 \times (185 - 15 - 2 \times 5) = 320\text{mm}$，由公式（7-53）得

$$h_f = \frac{R/4}{0.7\beta_f \Sigma l_w f_f^w} = \frac{64.3/4 \times 10^3}{0.7 \times 1.22 \times 320 \times 160} = 0.4\text{mm}，\text{采用 } h_f = 6\text{mm}$$

7. 屋架端部内天沟验算

（1）端杆节间弯矩

本算例端节间未设内天沟，无节间荷载。如设内天沟，按受弯杆件验算上弦杆 1 的承载力。设端节间集中荷载为 $P = 9.18\text{kN}$，作用位置距左端 0.6m，按简支梁跨中弯矩 $M_0 = \frac{0.6 \times (1.5 - 0.6) P}{1.5} = 0.36 \times 9.18 = 3.30\text{kN} \cdot \text{m}$，杆 1 跨中弯矩 $M = 0.8M_0 = 0.8 \times 3.3 = 2.64\text{kN} \cdot \text{m}$。

（2）截面选择

上弦杆杆截面 ┐┌ 75 × 50 × 5，短肢相并，$A = 12.25\text{cm}^2$，$W_{x1} = 21.56\text{cm}^3$，$W_{x2} = 6.60\text{cm}^3$，$\lambda_y = \frac{4524}{36} = 125.7$

强度及稳定性验算：

由表 3-1 中公式（3-2）得：

$$\sigma = \frac{M}{\gamma_{x2} W_{x2}} = \frac{2.64 \times 10^6}{1.2 \times 6.60 \times 10^3} = 333.3\text{N/mm}^2 > f = 215\text{N/mm}^2，\text{不满足要求。}$$

由公式由表 3-9 中公式（3-13）得：

$$\varphi_b = 1 - 0.0017\lambda_y \sqrt{\frac{f_y}{235}} = 1 - 0.0017 \times 125.7 \times \sqrt{\frac{235}{235}} = 0.786$$

由表 3-3 中公式（3-6）得：

$$\frac{M_x}{\varphi_b M_{x1}} = \frac{2.64 \times 10^6}{0.786 \times 21.56 \times 10^3} = 155.8\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2，\text{满足要求。}$$

经验算承受节间荷载的上弦杆肢尖受拉区不满足受力要求，可在端节间两角钢间增设一通长的钢板。

支撑布置、安装节点及构件详图见图 7-109、7-110。

【例题 7-9】 24m 梯形角钢屋架计算

1. 设计资料

某工程为跨度 24m 的双跨双坡封闭式厂房，厂房长 120m。采用梯形钢屋架，屋面坡度为 $i = 1/10$，屋架间距为 6m，屋架两端铰支于钢筋混凝土柱柱顶。有 9m 天窗架，有 2 台 50/10t 中级工作制吊车（A5），屋架上、下弦均连有横向支撑和竖向支撑，抗震设防烈度为 8 度，屋架下弦标高为 13m，屋面材料为预应力混凝土大型屋面板。地面粗糙度类别为 B 类，结构重要性系数为 $\gamma_0 = 1.0$，基本风压 $w_0 = 0.50\text{kN/m}^2$，基本雪压 $s_0 = 0.30\text{kN/m}^2$。屋架采用 Q235B，焊条采用 E43 型。钢筋混凝土柱所用混凝土标号为 C20。螺栓采用 Q235A 制成。

2. 屋架形式及几何尺寸

屋架形式及几何尺寸如图 7-111。屋面板主肋支承于屋架上弦节点，均为节点荷载。屋架坡角（上弦与下弦之间的夹角）为 $\alpha = \text{arctg}\frac{1}{10} = 5°42'38''$。

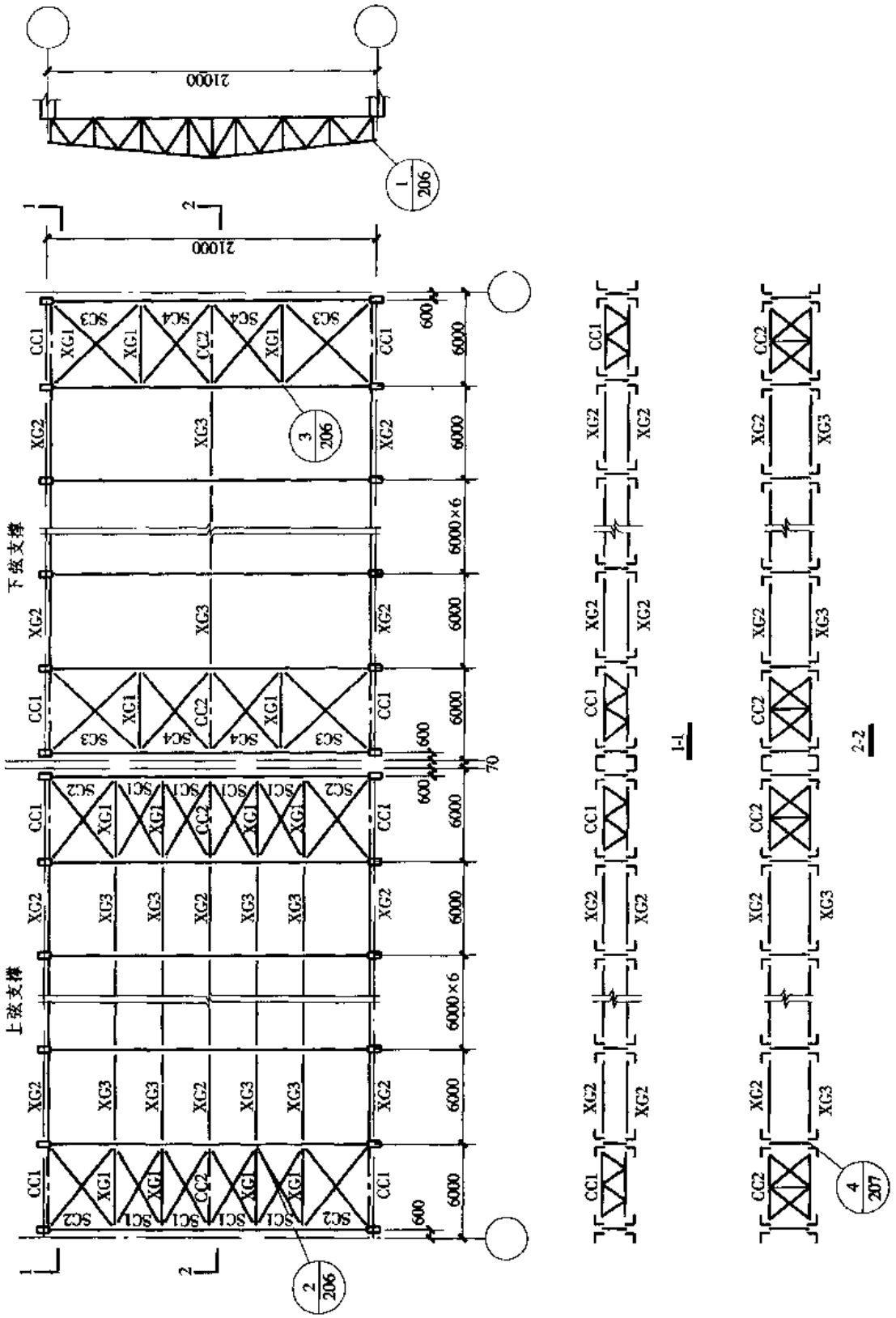


图 7-109　（a）屋架支撑布置图（柱间支撑开间应增设端部竖向支撑）

图 7-109（b） 檩条、拉条布置图

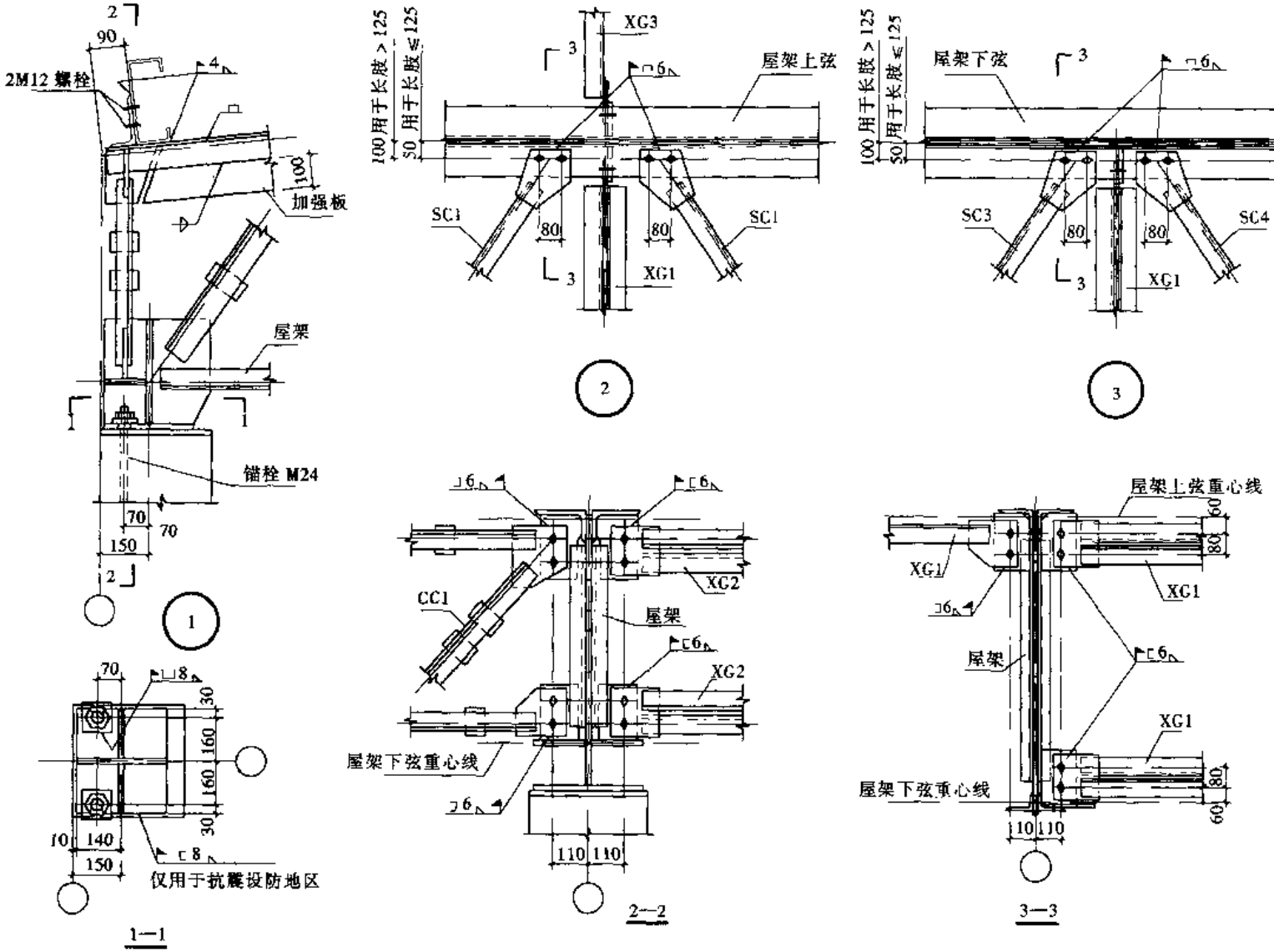


图 7-109（c） 安装节点详图（一）

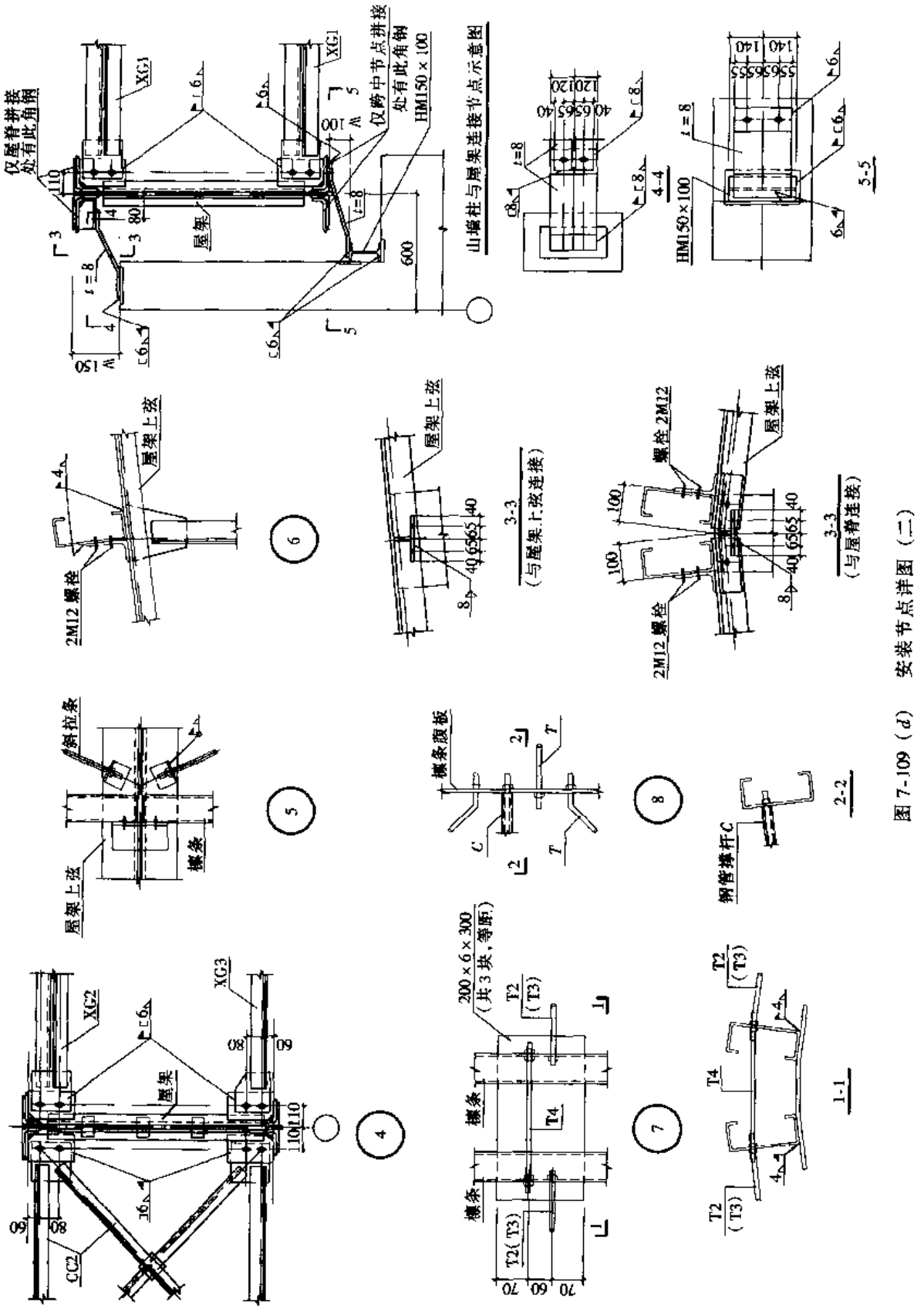
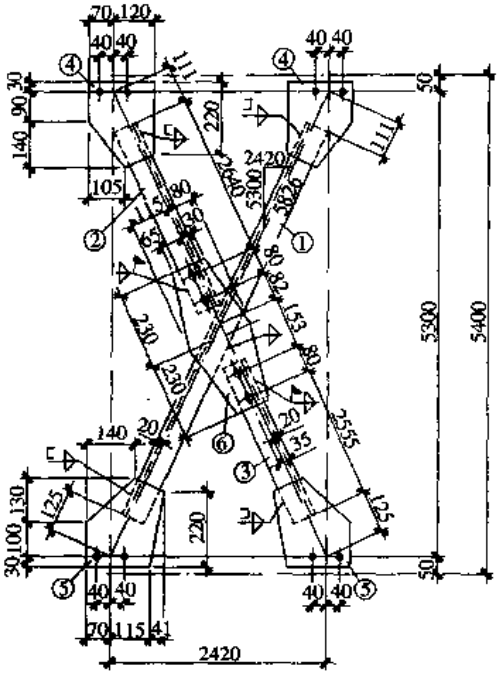
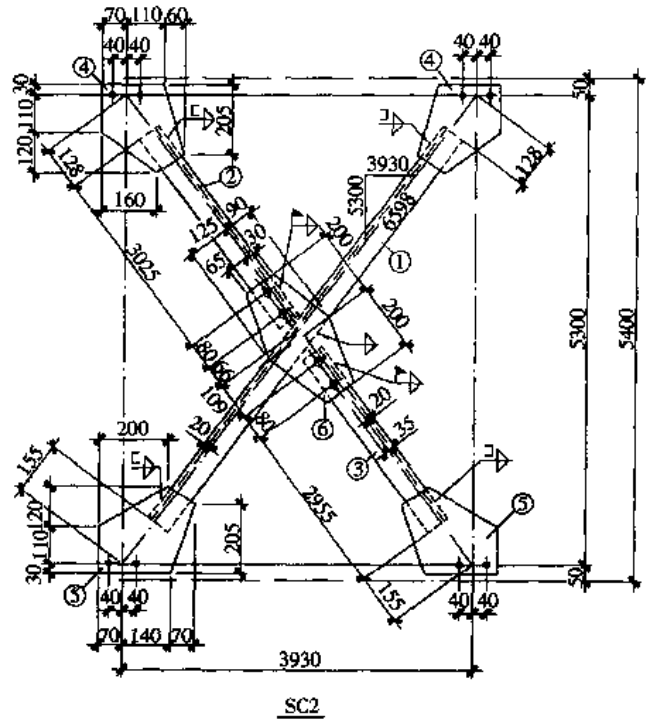


图 7-109 (d) 安装节点详图 (二)



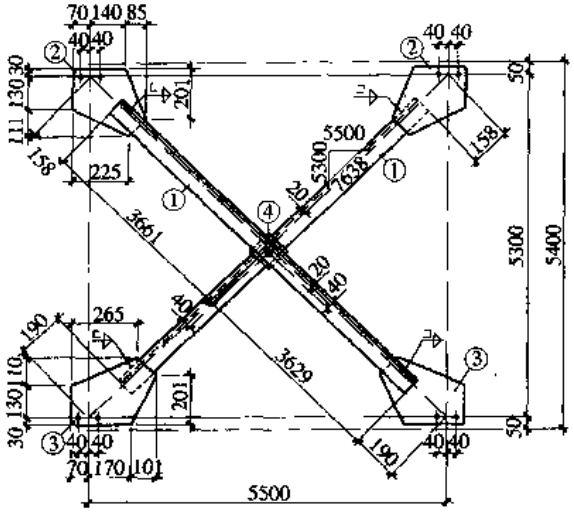
材　料　表								
构件编号	零件号	断　面	长度 (mm)	数量		重量(kg)		
				正	反	每个	共计	合计
SC1	1	L70×5	5590	1		30.2	30	73
	2	L70×5	2750	1		14.9	15	
	3	L70×5	2665	1		14.4	14	
	4	−190×6	260	2		2.3	5	
	5	−225×6	260	2		2.7	5	
	6	−195×6	460	1		4.2	4	
SC2	1	L70×5	6315	1		34.1	34	86
	2	L70×5	3135	1		17.9	18	
	3	L70×5	3065	1		16.6	17	
	4	−240×6	260	2		2.9	6	
	5	−260×6	280	2		3.4	7	
	6	−215×6	400	1		4.0	4	



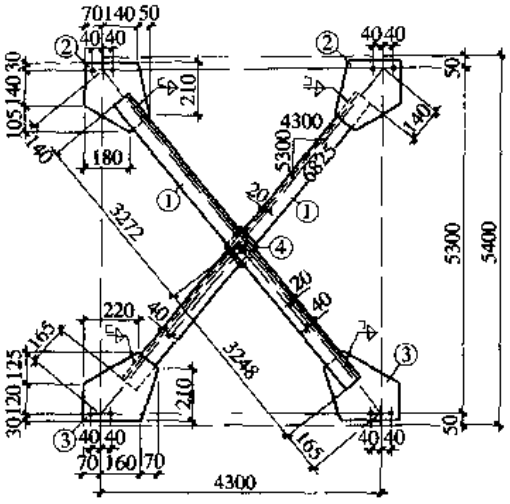
附注：

1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 5mm。
2. 角钢两端与节点板用三面围焊，其焊脚尺寸分别为：肢背 6mm，角钢端部和肢尖 5mm。
3. 未注明长度的焊缝一律满焊。
4. 未注明的螺栓为 M16，孔为 ϕ17

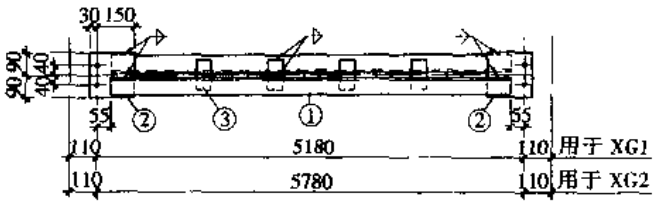
图 7-109（*e*）　水平支撑 SC1、SC2 详图



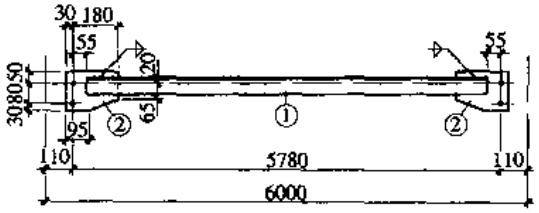
SC3



SC4



XG1、XG2



XG3

材料表							
构件编号	零件号	断面	长度(mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
SC3	1	L75×5	7290	2		42.4	85	102
	2	-270×6	295	2		3.7	7	
	3	-270×6	340	2		4.3	9	
	4	-100×6	105	1		0.5	1	
SC4	1	L75×5	6520	2		37.9	86	102
	2	L260×6	275	2		3.3	7	
	3	-275×6	300	2		3.9	8	
	4	-100×6	125	1		0.6	1	
XG1	1	L70×5	5070	2		27.4	55	61
	2	-180×6	180	2		1.5	3	
	3	-60×6	120	9		0.3	3	
XG2	1	L70×5	5670	2		30.6	61	67
	2	-180×6	180	2		1.5	3	
	3	-60×6	120	9		0.3	3	
XG3	1	L75×5	5670	1		33.0	33	36
	2	-160×6	210	2		1.6	3	

附注：

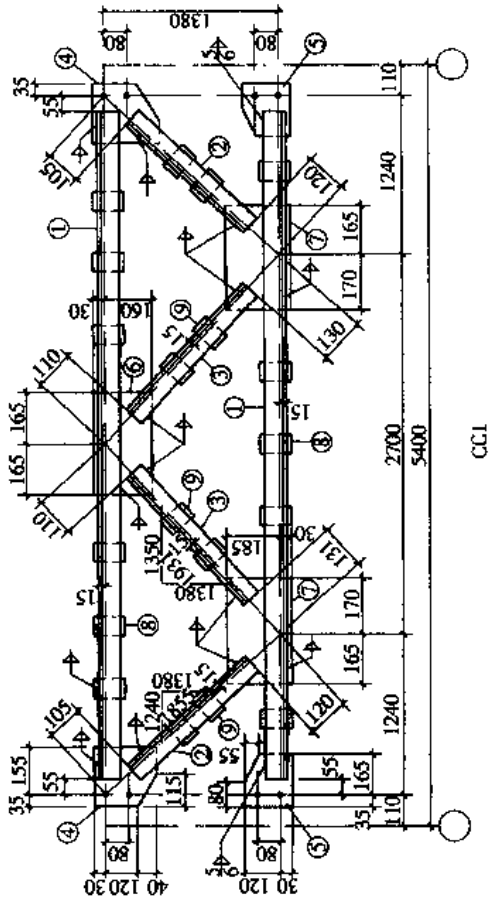
1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 5mm。
2. 角钢两端与节点板用三面围焊，其焊脚尺寸分别为：肢背 6mm，角钢端部和肢尖 5mm。
3. 未注明长度的焊缝一律满焊。
4. 未注明的螺栓为 M16，孔为 ϕ17

图 7-109（*f*） 水平支撑 SC3、SC4，系杆 XG1～XG3 详图

构件编号	零件号	断面	长度	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
CC1	1	L63×5	5070	4		24.4	98	175
	2	L50×5	1630	4		6.1	24	
	3	L50×5	1690	4		6.4	26	
	4	−190×8	190	2		2.3	5	
	5	−150×8	200	2		1.9	4	
	6	−190×8	330	1		3.9	4	
	7	−215×8	335	2		4.5	9	
	8	−60×8	85	11		0.3	3	
	9	−60×8	70	8		0.3	2	
CC2	1	L63×5	5070	4		24.4	98	182
	2	L50×5	3300	4		12.4	50	
	3	L50×5	2290	2		8.6	17	
	4	−185×6	195	2		1.7	3	
	5	−195×6	215	2		2.0	4	
	6	−185×6	310	1		2.7	3	
	7	−195×6	360	1		3.3	3	
	8	−60×6	85	12		0.2	2	
	9	−60×6	70	3		0.2	1	
	10	−80×6	100	2		0.4	1	

附注：

1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 5mm；
2. 未注明长度的焊缝一律满焊；
3. 未注明的螺栓为 M16，孔为 ϕ17；
4. 所有杆件均三面围焊。



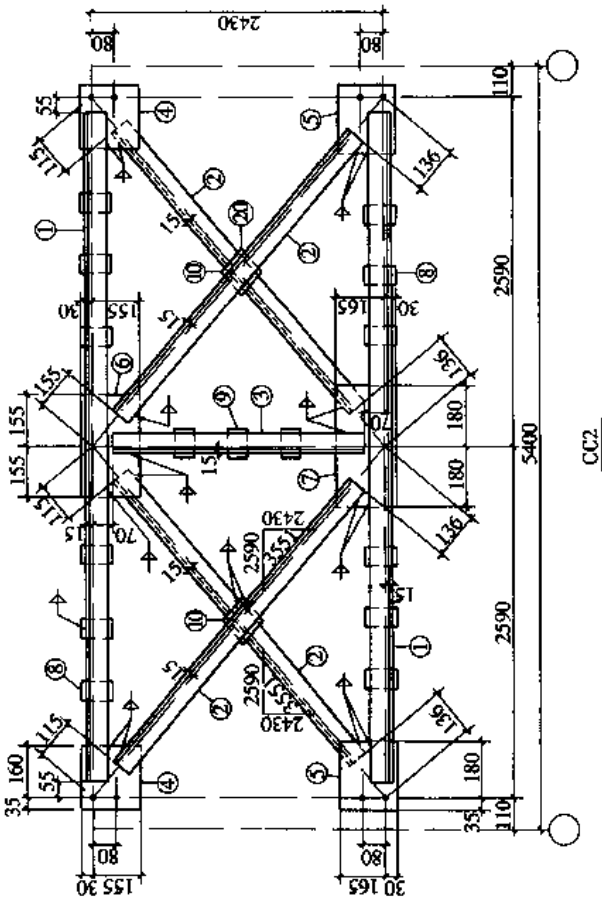


图 7-109（g）　竖向支撑 CC1、CC2 详图

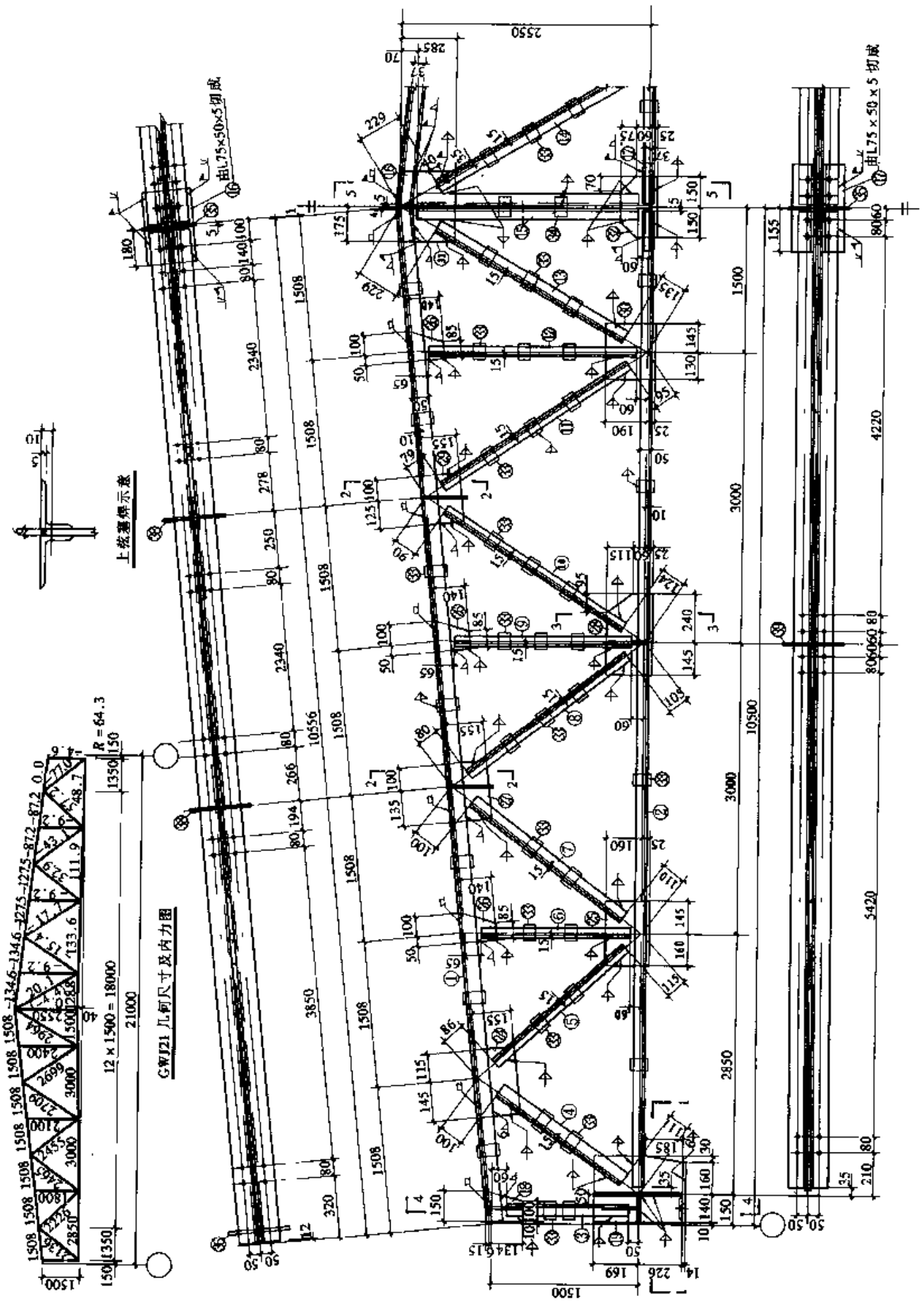


图 7-110（a） 屋架 GWJ21 详图（一）

构件编号	件号	截面	长度(mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
GWJ21	1	L75×50×5	10540	2	2	50.7	203	956
	2	L75×50×5	10310	2	2	49.6	198	
	3	L56×5	1390	4		5.9	24	
	4	L56×5	1925	4		8.2	33	
	5	L50×5	2025	4		7.6	31	
	6	L50×5	1675	4		6.3	25	
	7	L50×5	2225	4		8.5	34	
	8	L50×5	2270	4		8.6	34	
	9	L50×5	1975	4		7.4	30	
	10	L50×5	2495	4		9.4	38	
	11	L50×5	2525	4		9.5	38	
	12	L50×5	2275	4		8.6	34	
	13	L56×5	2660	3		11.0	22	
	14	L56×5	2460	1	1	11.0	22	
	15	L56×5	2420	2		10.3	21	
	16	L75×50×5	360	2		1.7	3	
	17	L75×50×5	310	2		1.5	3	
	18	−150×6	153	2		1.1	2	
	19	−330×8	395	2		8.2	16	
	20	−300×14	380	2		12.5	25	
	21	−185×8	395	4		4.6	18	
	22	−135×6	185	4		1.2	5	
	23	−100×14	100	4		1.1	4	
	24	−160×6	260	2		2.0	4	
	25	−185×6	305	2		2.7	5	
	26	−145×6	150	6		1.0	6	
	27	−160×6	235	2		1.8	4	
	28	−200×6	385	2		3.6	7	
	29	−160×6	225	2		1.7	3	
	30	−215×6	275	2		2.8	6	
	31	−290×6	350	1		4.8	5	
	32	−160×6	300	1		2.3	2	
	33	−60×6	80	78		0.2	18	
	34	−60×6	90	5		0.3	1	
	35	−140×6	195	4		1.3	5	
	36	−145×6	210	4		1.4	6	
	37	−130×6	195	4		1.2	5	
	38	−150×6	203	8		1.4	11	
	39	−145×6	200	4		1.4	5	

附注：

1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 5mm。
2. 未注明长度的焊缝不小于 70mm，一律满焊。
3. 未注明的螺栓为 M16，孔为 ϕ17。

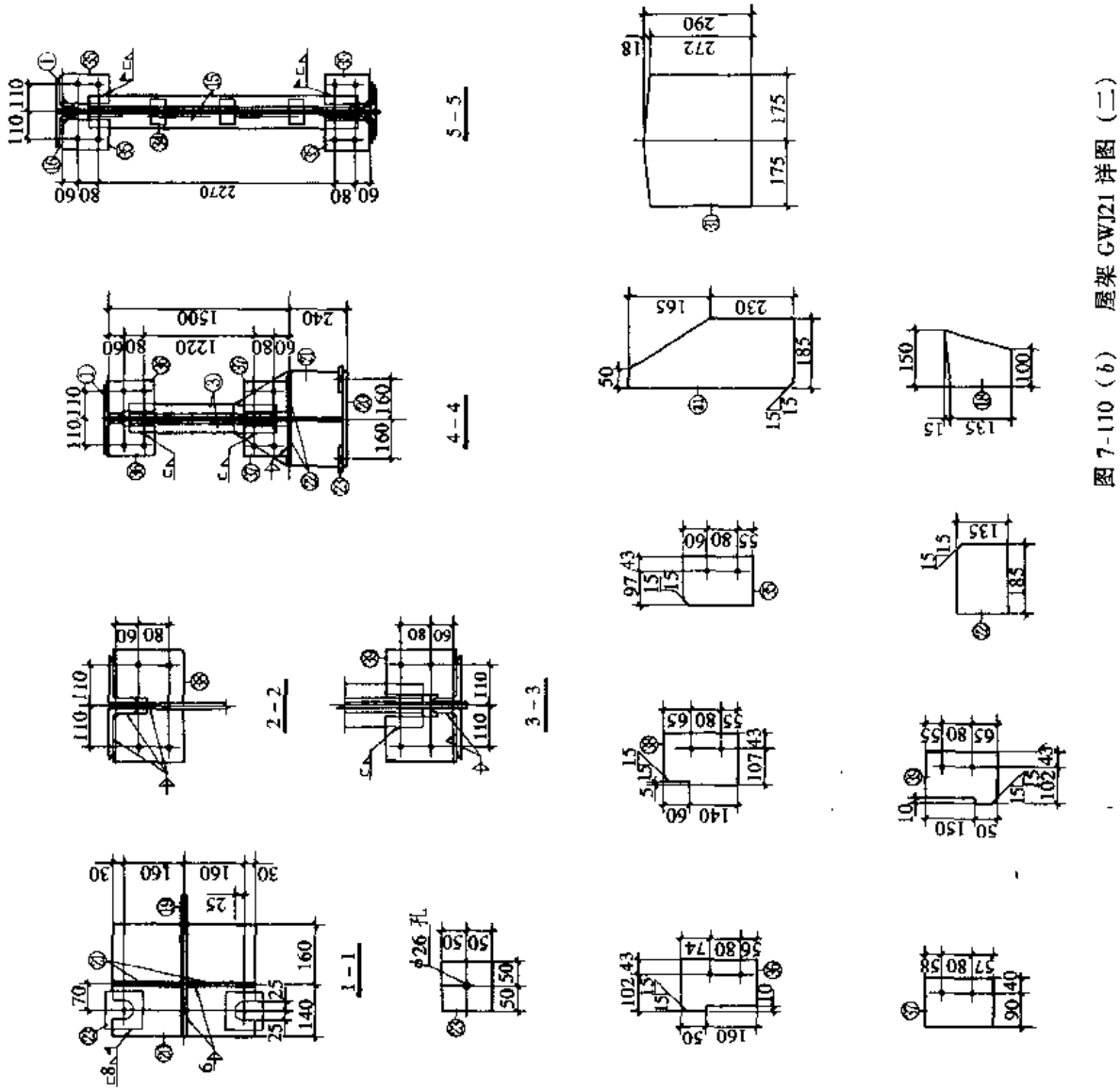


图 7-110（b）　屋架 GWJ21 详图（二）

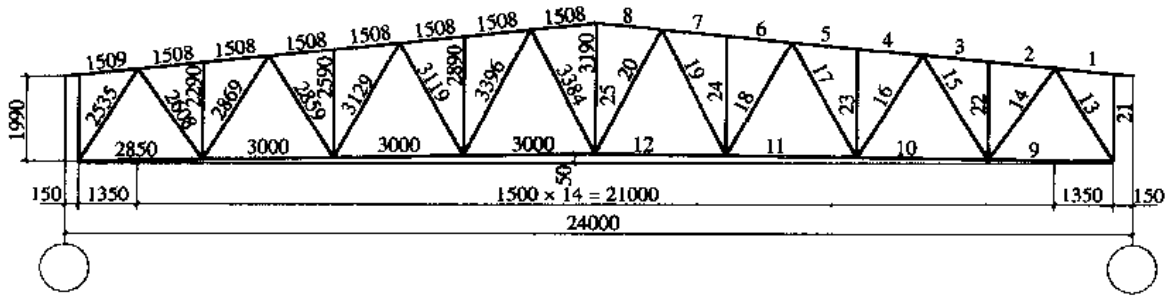


图 7-111 屋架形式及几何尺寸

3. 支撑布置

依据《建筑抗震设计规范》GB50011—2001，支撑布置见图 7-112，上弦横向水平支撑设置在房屋两端及伸缩缝处第一开间内①，并在相应开间屋架跨中设置竖向支撑，在其余开间屋架下弦跨中设置一通长水平柔性系杆，考虑大型屋面板在屋架平面外的支撑作用，取两块屋面板宽；下弦杆在屋架平面外的计算长度为屋架跨度的一半。（①也应设于柱间支撑开间）。

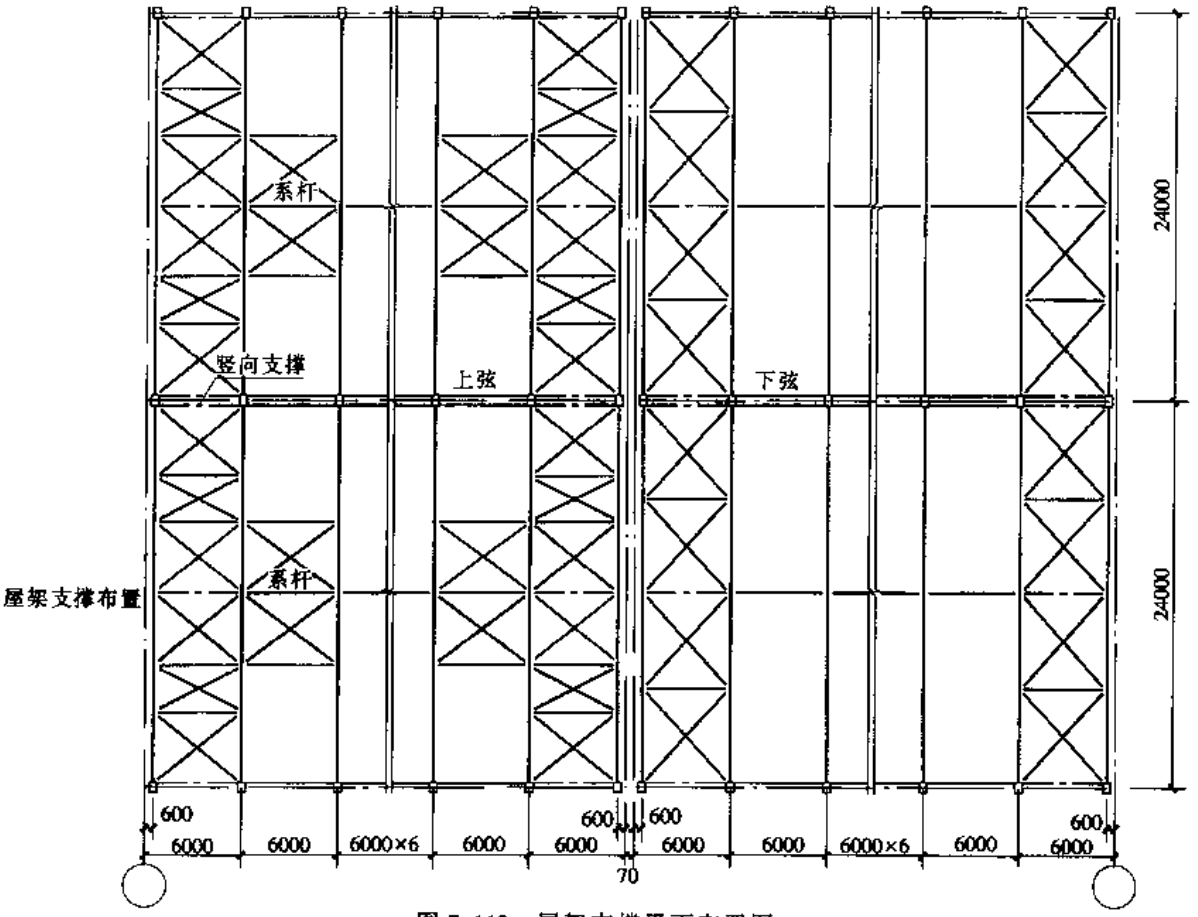


图 7-112 屋架支撑平面布置图

4. 荷载计算（标准值）

（1）永久荷载（恒荷载）（对水平投影面）

二毡三油加小石子防水层 0.35kN/m²

80mm 厚泡沫混凝土保温层 0.48kN/m²

20mm 厚水泥砂浆找平层	0.40kN/m²
预应力混凝土屋面板（含灌缝）	1.50kN/m²
悬挂管道等	0.10kN/m²
合计	2.83kN/m²

（2）可变荷载（活荷载）（对水平投影面）

1）屋面活荷载　0.50kN/m²

2）雪荷载

基本雪压：$s_0 = 0.30\text{kN/m}^2 < 0.5\text{kN/m}^2$。由于雪荷载与屋面活荷载不同时组合，故仅考虑活荷载的作用。另据《建筑结构荷载规范》（GB50009—2001）表 6.2.1 注 1 可知，不考虑积雪全跨不均布均匀分布情况。

3）积灰荷载　0.70kN/m² 仅考虑活荷载与积灰荷载的组合。

4）风荷载

基本风压：$w_0 = 0.50\text{kN/m}^2$

由于屋面永久荷载较大，负风压设计值均小于永久荷载标准值，永久荷载与风荷载组合作用下不致使杆件内力变号，故可不考虑风荷载的影响。

（3）荷载组合

1）恒荷载 + 活荷载

2）恒荷载 + 半跨雪荷载

3）屋架、支撑自重 + 半跨（大型屋面板自重 + 0.5kN/m² 检修活荷载）

由永久荷载组合设计值

$$q = 1.35 \times 2.83 + 1.4 \times (0.7 + 0.5) \times 0.70 = 5.0\text{kN/m}^2$$

5. 内力组合及截面选择

（1）按中国建筑科学研究院 PKPM CAD 工程部提供的 STS 软件计算，内力中已包括该软件自动形成的屋架和支撑等构件自重所产生的内力。经内力组合后，屋架内力如图 7-113 所示。

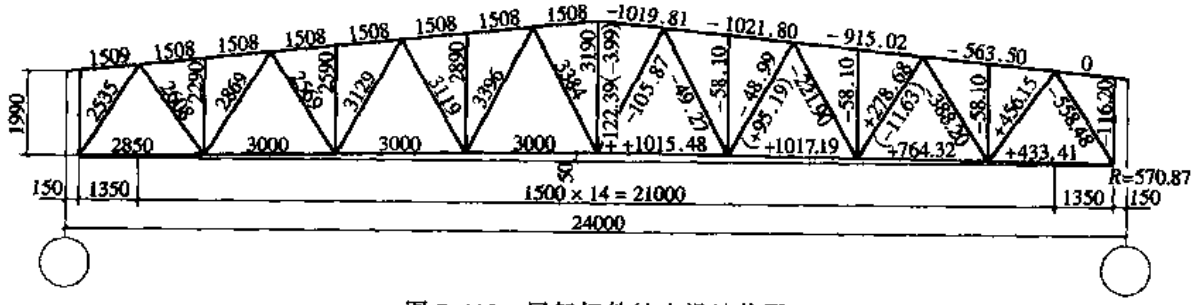


图 7-113　屋架杆件轴力设计值图

（2）截面选择

1）上弦杆 1～8

$$N = -1021.81\text{kN},\ l_{0x} = 150.8\text{cm},\ l_{0y} = 452.4\text{cm},$$

选用截面┐┌180 × 110 × 12，两短肢相并

截面的几何特性：

截面面积：$A = 67.42\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 3.11\text{cm}$，$i_y = 8.75\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{150.8}{3.11} = 48.5 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{452.4}{8.75} = 51.7 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

由表 3-17：

$$b_1/t = \frac{180}{12} = 15 > 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{4524}{180} = 14.1$$

由表 3-17 中公式（3-53b）得：

$$\lambda_{yz} = 3.7 \frac{b_1}{t}\left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{52.7 b_1^4}\right) = 3.7 \times \frac{180}{12} \times \left(1 + \frac{4524^2 \times 12^2}{52.7 \times 180^4}\right) = 58.5$$

查表 14-3 得：$\varphi_x = 0.863$，$\varphi_{yz} = 0.816$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{1021.81 \times 10^3}{0.816 \times 67.42 \times 10^2} = 185.7 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-10 的承载力设计值查得。$N = -1021.81$kN，$l_{0x} = 150.8$cm，$l_{0y} = 452.4$cm，选用截面┐┌180×110×12，两短肢相并，平面内稳定承载力 $[N] = -1253$kN，平面外稳定承载力 $[N] = -1180$kN，均大于杆件内力 $N = -1021.81$kN，满足要求。由平面外稳定控制。

2）下弦杆 9～12

$$N = 1017.19\text{kN}，\ l_{ox} = 300.0\text{cm}，\ l_{oy} = 1185\text{cm}$$

选用截面┘└160×100×10，两短肢相并

截面面积 $A = A_n = 50.63\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 2.85$cm，$i_y = 7.78$cm

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{300.0}{2.85} = 105.3 < [\lambda] = 400$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{1185}{7.78} = 152.3 < [\lambda] = 400$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A_n} = \frac{1017.19 \times 10^3}{50.63 \times 10^2} = 200.9 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$$ 满足要求。

3）斜腹杆 13

$$N = -558.49\text{kN}，\ l_{0x} = l_{0y} = l = 253.5\text{cm}$$

选用截面┐┌125×80×10，两长肢相并

截面的几何特性：

截面面积：$A = 39.42\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 3.98$cm，$i_y = 3.39$cm

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{253.5}{3.98} = 63.7 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{253.5}{3.39} = 74.8 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b_2/t = \frac{80}{10} = 8 < 0.48 l_{0y}/b_2 = 0.48 \times \frac{2535}{80} = 15.2$$

由表 3-17 中公式（3-52a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y \left(1 + \frac{1.09 b_2^4}{l_{0y}^2 t^2}\right) = 74.8 \times \left(1 + \frac{1.09 \times 80^4}{2535^2 \times 10^2}\right) = 80.0$$

查表 14-3 得，$\varphi_x = 0.787$，$\varphi_{yz} = 0.688$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$\sigma = \dfrac{N}{\varphi_{min} A} = \dfrac{558.49 \times 10^3}{0.688 \times 39.42 \times 10^2} = 205.9 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-11 的承载力设计值查得。$N = -558.49\text{kN}$，$l_{0x} = l_{oy} = l = 253.5\text{cm}$，选用截面┐┌125 × 80 × 10，两长肢相并。平面内稳定承载力［N］$= -667\text{kN}$；平面外稳定承载力［N］$= -562\text{kN}$；均大于杆件内力 $N = -558.49\text{kN}$，满足要求。由平面外稳定控制。

4）斜腹杆 14

$N = 456.15\text{kN}$，$l_{0x} = 0.8l = 0.8 \times 260.8 = 208.6\text{cm}$，$l_{0y} = l = 260.8\text{cm}$

选用截面┐┌100 × 6

截面的几何特性：

截面面积：$A = A_n = 23.86\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 3.10\text{cm}$，$i_y = 4.51\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{208.6}{3.10} = 67.3 <$［$\lambda$］$= 400$，

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{260.8}{4.51} = 57.8 < [\lambda] = 400,$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$\sigma = \dfrac{N}{A_n} = \dfrac{456.15 \times 10^3}{23.86 \times 10^2} = 191.2 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$，满足要求。

5）斜腹杆 15

$N = -388.20\text{kN}$，$l_{0x} = 0.8l = 0.8 \times 288.9 = 231.1\text{cm}$，$l_{0y} = 288.9\text{cm}$

选用截面┐┌100 × 8

截面的几何特性：

截面面积：$A = 31.28\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 3.08\text{cm}$，$i_y = 4.55\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{231.1}{3.08} = 75.0 <$［$\lambda$］$= 150$　属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{288.9}{4.55} = 63.5 < [\lambda] = 150 \quad \text{属 } b \text{ 类截面。}$$

由表 3-17 得：

$$b/t = \frac{100}{8} = 12.5 < 0.58 l_{0y}/b = 0.58 \times \frac{288.9}{100} = 16.7$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得：

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=63.5\times\left(1+\frac{0.475\times100^4}{2889^2\times8^2}\right)=69.1$$

查表 14-3 得，$\varphi_x=0.720$，$\varphi_{yz}=0.756$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{388.20\times10^3}{0.720\times31.28\times10^2}=172.4\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-9 承载力设计值查得。$N=-388.20$kN，$l_{0x}=231.1$cm，$l_{0y}=288.9$cm，选用截面┐┌100×8。平面内稳定承载力［N］$=-485$kN；平面外稳定承载力［N］$=-540$kN；均大于杆件内力 $N=-388.20$kN，满足要求。由平面内稳定控制。

6）斜腹杆 16

按拉杆考虑　$N=278.68$kN　$l_{0x}=0.8l=0.8\times285.9=228.7$cm　$l_{0y}=l=285.9$cm

选用截面┐┌75×5

截面的几何特性：

截面面积：$A=A_n=14.82\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=2.32$cm，$i_y=3.50$cm

长细比：$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{228.7}{2.32}=98.6<$［$\lambda$］$=400$，

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{285.9}{3.50}=81.7<［\lambda］=400,$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma=\frac{N}{A_n}=\frac{278.68\times10^3}{14.82\times10^2}=188.0\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

按压杆考虑　$N=-11.63$kN

$$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{228.7}{2.32}=98.6<［\lambda］=150$$　属 b 类截面。

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{285.9}{3.50}=81.7<［\lambda］=150$$　属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b/t=\frac{75}{5}=15<0.58l_{0y}/b=0.58\times\frac{2859}{75}=22$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得：

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=81.7\times\left(1+\frac{0.475\times75^4}{2859^2\times5^2}\right)=87.7$$

查表 14-3 得，$\varphi_x=0.564$，$\varphi_{yz}=0.637$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{11.63\times10^2}{0.564\times14.82\times10^2}=13.9\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

7）斜腹杆 17：

$N=-221.90\text{kN}$，$l_{0x}=0.8l=0.8\times312.9=250.3\text{cm}$，$l_{0y}=l=312.9\text{cm}$

选用截面┐┌90×6

截面的几何特性：

截面面积：$A=21.27\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=2.79\text{cm}$，$i_y=4.12\text{cm}$

长细比：$\lambda_x=\dfrac{l_{0x}}{i_x}=\dfrac{250.3}{2.79}=89.7<[\lambda]=150$　属 b 类截面。

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{312.9}{4.12}=75.9<[\lambda]=150$$　属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b/t=\frac{90}{6}=15<0.58l_{0y}/b=0.58\times\frac{3129}{90}=20.2$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得：

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=75.9\times\left(1+\frac{0.475\times90^4}{3129^2\times6^2}\right)=82.6$$

查表 14-3 得，$\varphi_x=0.623$，$\varphi_{yz}=0.671$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{\varphi_{\min}A}=\frac{221.90\times10^3}{0.623\times21.27\times10^2}=167.5\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$　满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-9 的承载力设计值查得。$N=-221.90\text{kN}$，$l_{0x}=250.3\text{cm}$，$l_{0y}=312.9\text{cm}$，查表 19-9 得，选用截面┐┌90×6，平面内稳定承载力［N］$=-285\text{kN}$；平面外稳定承载力［N］$=-336\text{kN}$；均大于杆件内力 $N=-221.90\text{kN}$，满足要求。由平面内稳定控制。

8）斜腹杆 18

按压杆考虑　$N=-48.99\text{kN}$，$l_{0x}=0.8l=0.8\times311.9=249.5\text{cm}$，$l_{0y}=l=311.9\text{cm}$

选用截面┐┌56×5

截面的几何特性：

截面面积：$A=10.83\text{cm}^2$

回转半径：$i_x=1.72\text{cm}$，$i_y=2.77\text{cm}$

长细比：$\lambda_x=\dfrac{l_{0x}}{i_x}=\dfrac{249.5}{1.72}=145.1<[\lambda]=150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{311.9}{2.77}=112.6<[\lambda]=150$$，属 b 类截面。

由表 3-17 得：

$$b/t=\frac{56}{5}=11.2<0.58l_{0y}/b=0.58\times\frac{3119}{56}=32.3$$

由表 3-17 中公式（3-51a）得

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=112.6\times\left(\frac{0.475\times56^4}{1+3119^2\times5^2}\right)=114.8$$

查表 14-3 得，$\varphi_x=0.326$，$\varphi_{yz}=0.466$

GWJ24 屋架杆件截面选用表 表 7-18

杆件名称	杆件编号	内力 N (kN)	截面规格 (mm)	截面面积 (cm^2)	计算长度 l_{0x} (cm)	计算长度 l_{0y} (cm)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	长细比 λ_x	长细比 λ_y	长细比 λ_{yz}	稳定系数 φ_{min}	强度 N/A (N/mm^2)	稳定性 (N/mm^2)	容性长细比 $[\lambda]$	强度设计值 f (N/mm^2)
上弦杆	1~8	-1021.80	2L180×110×12	67.42	150.8	452.4	3.11	8.75	48.5	51.7	58.5	0.816		185.7	150	215
下弦杆	9~12	1017.19	2L160×100×10	50.63	300.0	1185.0	2.85	7.78	105.3	152.3			200.9		400	215
斜腹杆	13	-558.49	2L125×80×10	39.42	253.5	253.5	3.98	3.39	63.7	74.8	80	0.688		205.9	150	215
	14	456.15	2L100×6	23.86	208.6	260.8	3.1	4.51	67.3	57.8			191.2		400	215
	15	-388.20	2L100×8	31.28	231.1	288.9	3.08	4.55	75.0	63.5	69.1	0.720		172.4	150	215
	16	278.68	2L75×5	14.82	228.7	285.9	2.32	3.50	98.6	81.7	87.7	0.564	188.0		400	215
		-116.3												13.9	150	215
	17	-221.90	2L90×6	21.27	250.3	312.9	2.79	4.12	89.7	75.9	82.6	0.623		167.5	150	215
	18	95.19	2L56×5	10.83	249.5	311.9	1.72	2.77	145.1	112.6			87.9		400	215
		-48.99									114.8	0.326		138.8	150	215
	19	-49.17	2L63×5	12.29	271.7	339.6	1.94	3.04	140.1	111.7	114.6	0.345		116.2	150	215
	20	-105.87	2L75×5	14.82	270.7	338.4	2.32	3.50	116.7	96.7	101.8	0.455		157.0	150	215
竖腹杆	21	-116.20	2L63×5	12.29	200.5	200.5	1.94	3.04	103.4	66.0	70.9	0.533		177.4	150	215
	22	-58.10	2L50×5	9.61	183.2	229.0	1.53	2.53	119.7	90.5	94.8	0.439		137.7	150	215
	23	-58.10	2L50×5	9.61	207.2	259.0	1.53	2.53	135.4	102.4	104.2	0.363		166.6	150	215
	24	-58.1	2L56×5	10.83	231.2	289.0	1.72	2.77	134.4	104.3	106.6	0.368		145.8	150	215
	25	122.39	┼63×5	12.29	287.1	287.1	2.45		117.2				99.7		400	215
		-3.99									117.2	0.452		7.2	150	215

由表3-16中公式（3-44）得：

$$\sigma=\frac{N}{\varphi_{\min}A}=\frac{48.99\times10^3}{0.326\times10.83\times10^2}=138.8\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

截面选择也可根据表19-10的承载力设计值查得，$[N]=75.5\text{kN}>48.99\text{kN}$，满足要求。

按拉杆考虑，$N=95.19\text{kN}$，

长细比：$\lambda_x=\frac{l_{0x}}{i_x}=\frac{249.5}{1.72}=145.1<[\lambda]=400$

$$\lambda_y=\frac{l_{0y}}{i_y}=\frac{311.9}{2.77}=112.6<[\lambda]=400$$

由表3-16中公式（3-41）得：

$$\sigma=\frac{N}{A_n}=\frac{95.19\times10^3}{10.83\times10^2}=87.9\text{N/mm}^2<f=215\text{N/mm}^2$$ 满足要求。

其余腹杆计算过程雷同，不再赘述，所有计算结果见表7-18。

6. 屋架节点连接计算

（1）腹杆与节点板的连接焊缝

肢背、肢尖焊缝长度由公式（4-20）、（4-21）计算，结果见表7-19。

GWJ24腹杆与节点板连接焊缝汇总表　　表7-19

杆件名称	杆件编号	杆件内力（kN）	截面规格	肢背焊脚尺寸 h_{f1}（mm）	肢背焊脚长度 l_{w1}（mm）	肢尖焊脚尺寸 h_{f2}（mm）	肢尖焊脚长度 l_{w2}（mm）
斜腹杆	13	-558.48	2L125×80×10	10	190	6	160
	14	456.15	2L100×6	8	200	6	120
	15	-388.2	2L100×8	8	170	6	100
	16	278.68	2L75×5	6	160	5	90
	17	-221.9	2L90×6	6	130	5	80
	18	95.19	2L56×5	5	70	5	70
	19	-49.17	2L63×5	5	60	5	60
	20	-105.87	2L75×5	5	70	5	60
竖腹杆	21	-116.2	2L63×5	5	85	5	60
	22	-58.1	2L50×5	5	60	5	60
	23	-58.1	2L50×5	5	60	5	60
	24	-58.1	2L56×5	5	60	5	60
	25	122.39	┘┌63×5	5	70	5	60

注：1. 表中 $l_{w1}=l'_{w1}+2h_{f1}$，$l_{w2}=l'_{w2}+2h_{f2}$。

2. 本设计焊脚长度 l_w 最小值取为70mm。

（2）节点设计

1）节点编号。（见图7-114）

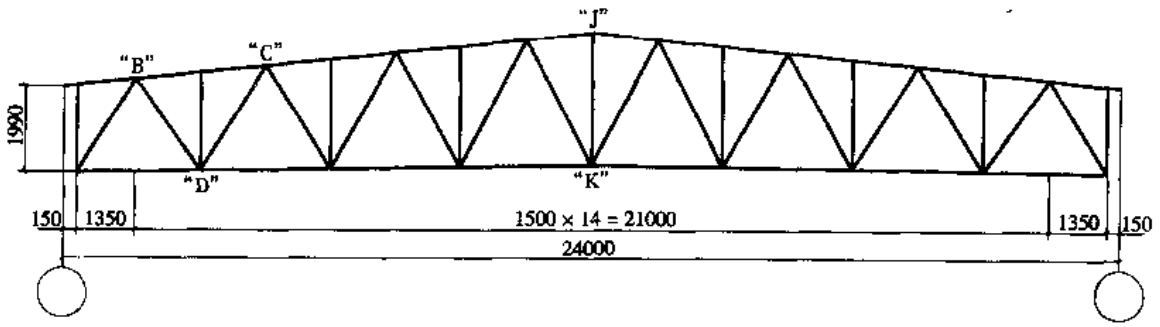


图7-114　节点编号

2）一般节点

根据所汇交腹杆端部焊缝长度在大样图中放样确定节点板的尺寸，然后按公式（7-34）～（7-39）验算弦杆焊缝。参见例题［7-8］，计算过程从略。

A. 节点“B”计算（见图 7-115）

B. 节点“C”计算（见图 7-116）

C. 节点“D”计算（见图 7-117）

3）拼接节点

A. 下弦拼接节点“K”（见图 7-118）

B. 上弦拼接节点“J”（见图 7-119）

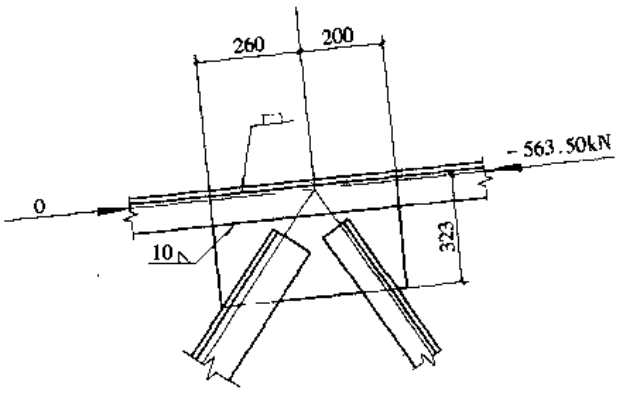


图 7-115 节点“B”图

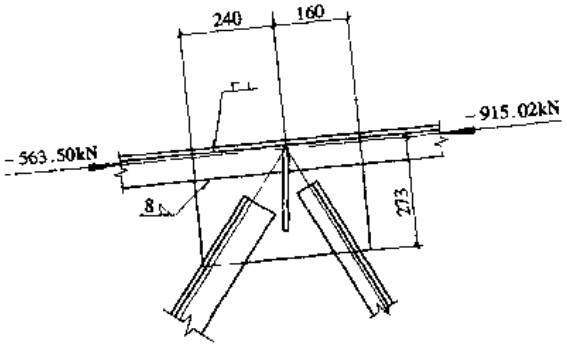


图 7-116 节点“C”图

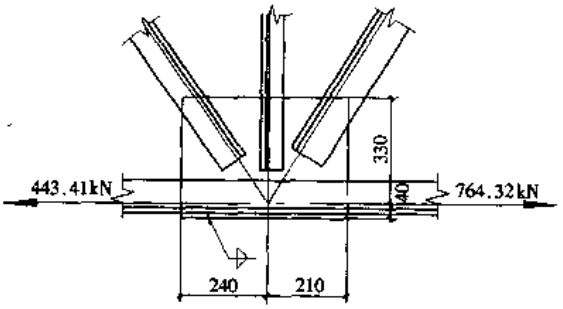


图 7-117 节点“D”图

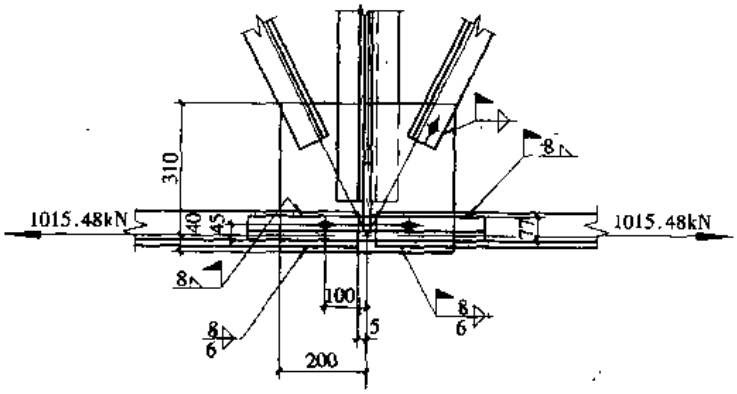


图 7-118 下弦拼接节点“K”图

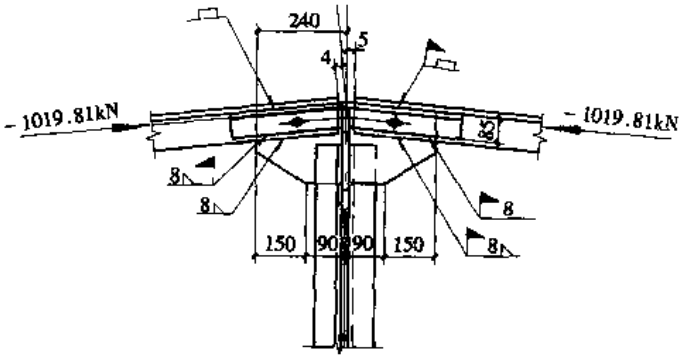


图 7-119 上弦拼接节点“J”图

4）支座节点“g”（见图7-120）

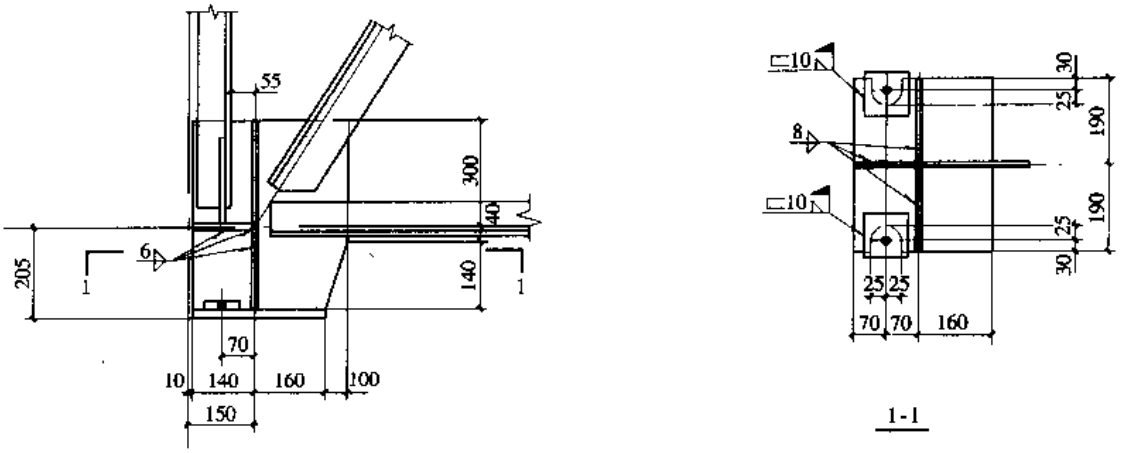


图7-120　支座节点“g”图

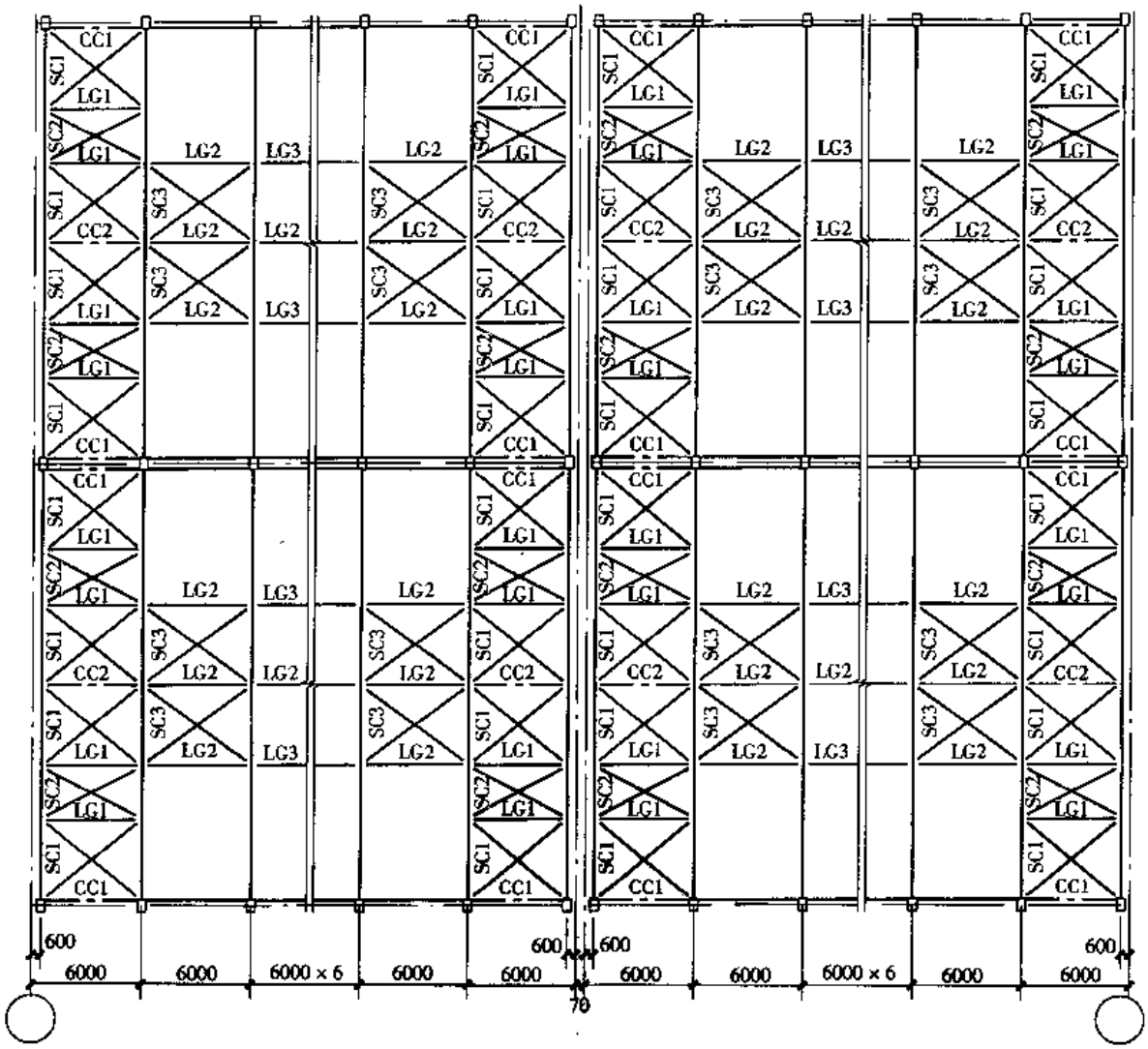


图7-121（a）　屋架上弦支撑布置图（柱间支撑开间再增设），
当天窗从端部第三开间设置时SC3相应移位

支撑布置、详图及屋架详图见图 7-121 及图 7-122。安装节点参考图 7-109（*c*）和图 7-109（*d*）相关节点。

7. 如果上述屋架与柱刚接，其余条件不变，不考虑吊车荷载时分析屋架各杆件内力和截面变化。

根据柱断面及柱高，求得屋架端部负弯矩为 1076kN·m，或一对大小相同方向相反的水平力 $N = 538\text{kN}$。屋架杆件编号同上。

（1）截面选择

1）上弦杆 1～8

$$N = -538.0\text{kN},\quad l_{0x} = 150.8\text{cm},\quad l_{0y} = 452.4\text{cm},$$

选用截面┐┌140×90×10，两短肢相并

截面的几何特性：

截面面积：$A = 44.52\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 2.56\text{cm}$，$i_y = 6.85\text{cm}$

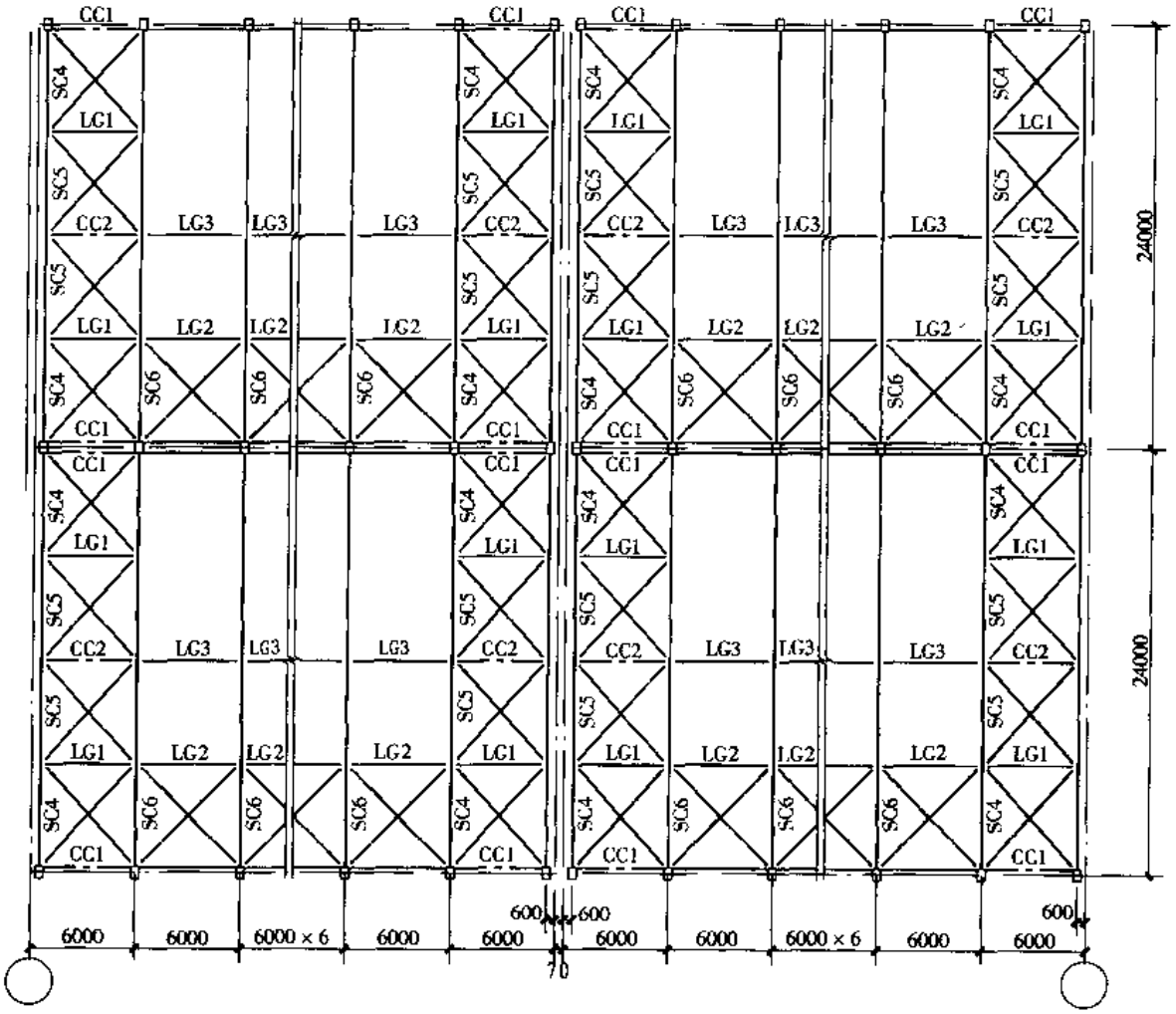
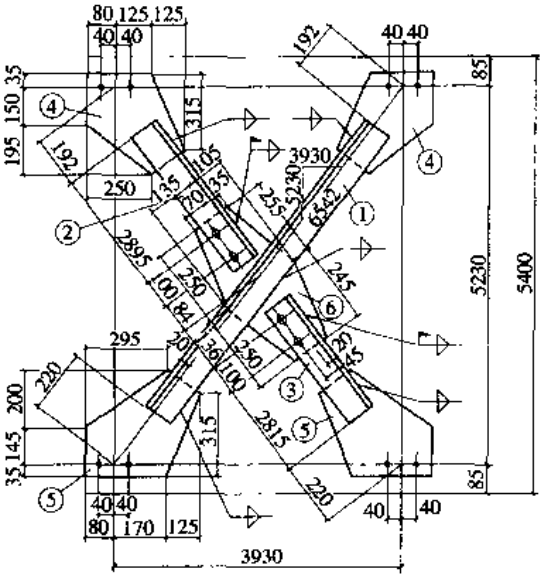
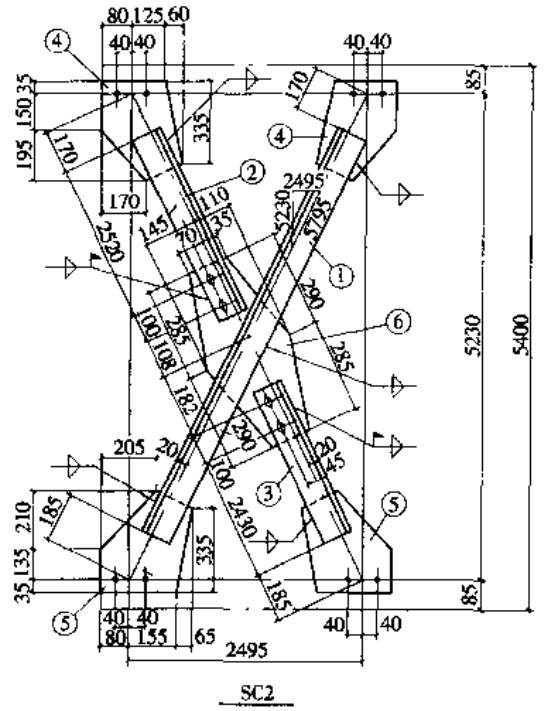


图 7-121（*b*） 屋架下弦支撑布置图（柱间支撑开间再增设），在 50/5t 吊车开间增设纵向支撑



SC1

材料表								
构件编号	件号	断面	长度	数量		重量(kg)		
				正	反	每个	共计	合计
SC1	1	L75×5	6130	1		35.7	36	113
	2	L75×5	3035	1		17.7	18	
	3	L75×5	2955	1		17.2	17	
	4	-330×8	380	2		7.9	16	
	5	-375×8	380	2		8.9	18	
	6	-240×8	500	1		7.5	8	
SC2	1	L75×5	5440	1		31.7	32	99
	2	L75×5	2660	1		15.5	16	
	3	L75×5	2570	1		15.0	15	
	4	-265×8	380	2		6.3	13	
	5	-300×8	380	2		7.2	14	
	6	-255×8	575	1		9.2	9	

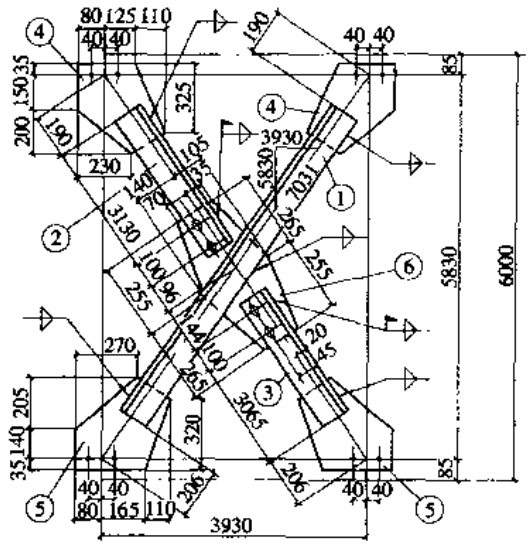


SC2

附注：

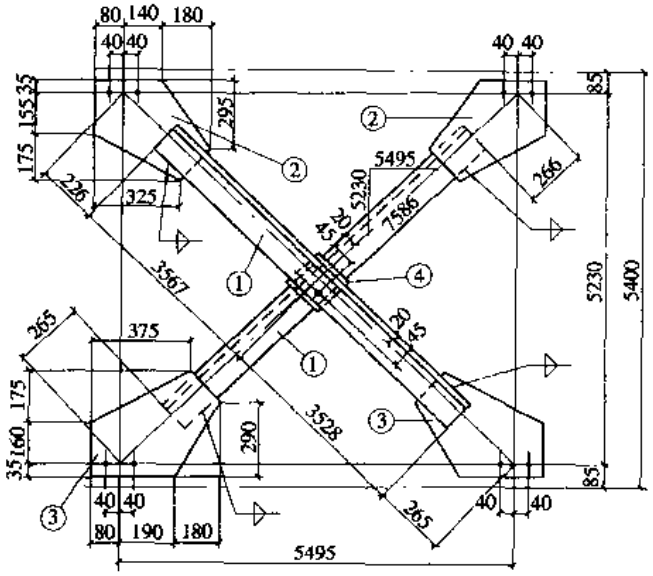
1. 未注明的焊缝焊脚尺寸为 6mm；
2. 未注明长度的焊缝一律满焊；
3. 未注明的螺栓为 ϕ20，孔为 21.5。

图 7-121（c）　水平支撑 SC1 和 SC2 详图



材 料 表

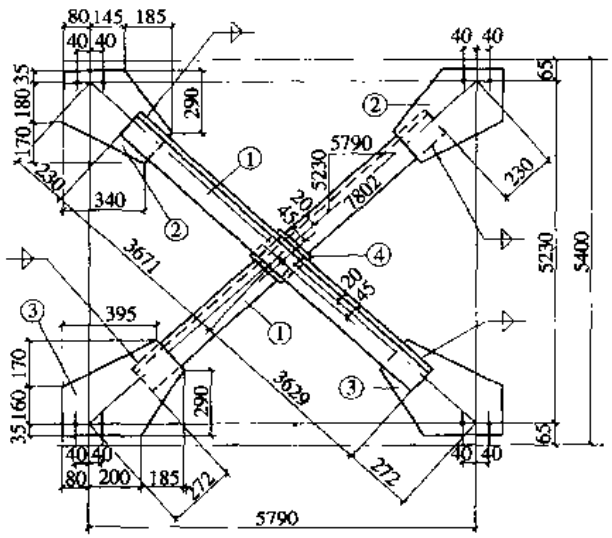
构件编号	件号	断 面	长度	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
SC3	1	L75×5	6635	1		38.6	39	117
	2	L75×5	3270	1		19.0	19	
	3	L75×5	3205	1		18.7	19	
	4	-315×8	385	2		7.6	15	
	5	-355×8	380	2		8.5	17	
	6	-245×8	520	1		8.0	8	
SC4	1	L75×5	7095	2		41.3	83	123
	2	-365×8	400	2		9.2	18	
	3	-370×8	450	2		10.5	21	
	4	-100×8	100	1		0.6		



附注：

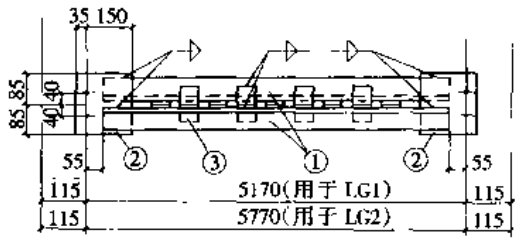
1. 未注明的焊缝焊脚尺寸为 6mm；
2. 未注明长度的焊缝一律满焊；
3. 未注明的螺栓为 ϕ20，孔为 21.5。

图 7-121（*d*） 水平支撑 SC3 和 SC4（SC6）详图（SC6 参照 SC4）

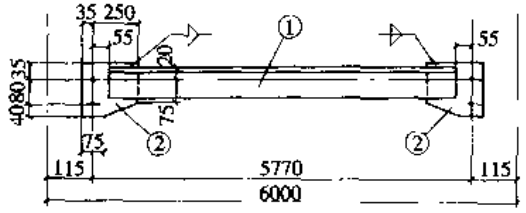


SC5

材料表								
构件编号	件号	断面	长度	数量		重量(kg)		
				正	反	每个	共计	合计
SC5	1	L75×5	7300	2		42.5	85	127
	2	-385×8	410	2		9.9	20	
	3	-365×8	465	2		10.7	21	
	4	-100×8	100	1		0.6	1	
LG1	1	L70×5	5060	2		27.3	55	64
	2	-170×8	185	2		2.0	4	
	3	-60×8	120	9		0.5	5	
LG2	1	L70×5	5660	2		30.6	61	70
	2	-170×8	185	2		2.0	4	
	3	-60×8	120	9		0.5	5	
LG3	1	L80×5	5660	1		35.1	35	41
	2	-155×8	285	2		2.8	6	



LG1、LG2

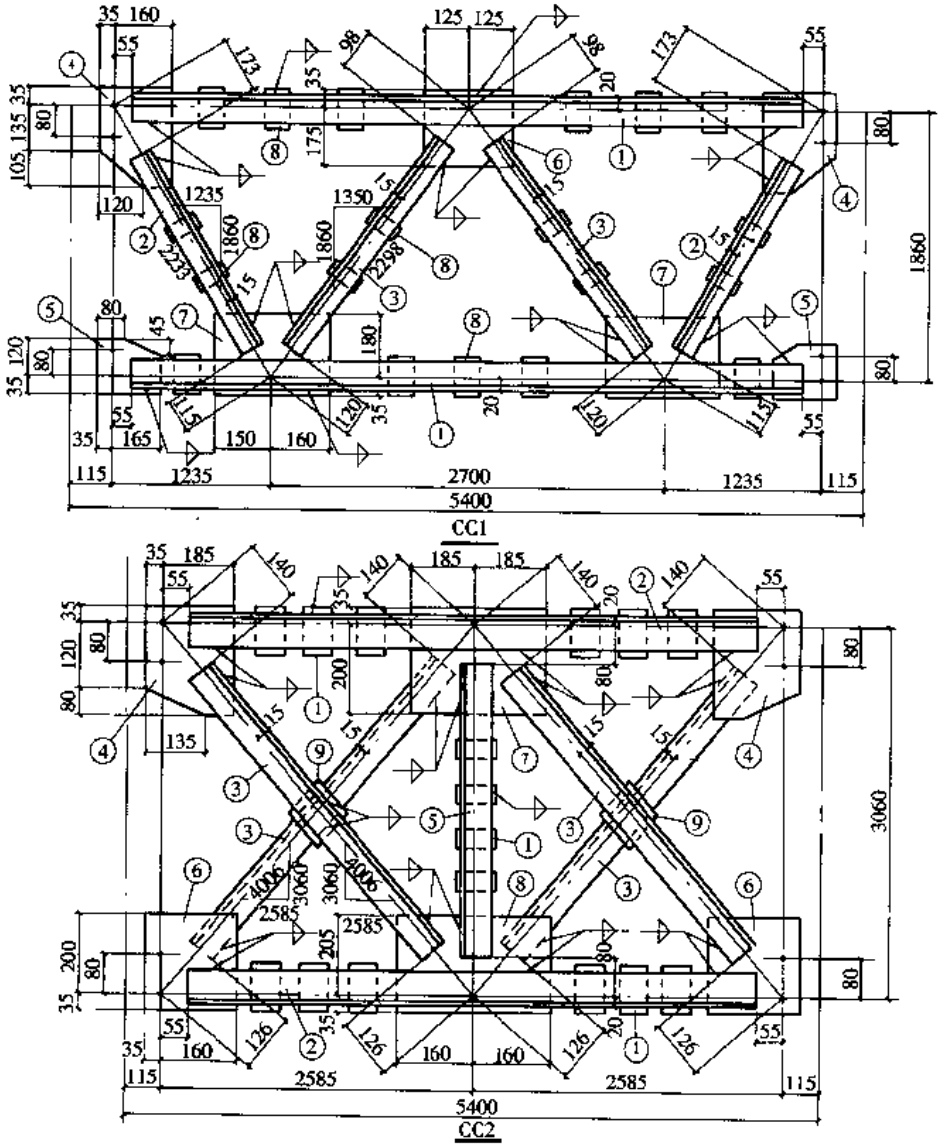


LG3

附注：

1. 未注明的焊缝焊脚尺寸为6mm；
2. 未注明长度的焊缝一律满焊；
3. 未注明的螺栓为 ϕ20，孔为21.5。

图7-121（e）　水平支撑SC5、系杆LG1、LG2、LG3详图



材　料　表

构件编号	件号	断　面	长度	数量		重　量(kg)		
				正	反	每个	共计	合计
CC1	1	L70×5	5060	4		27.3	109	215
	2	L63×5	1945	4		9.4	38	
	3	L63×5	2080	4		10.0	40	
	4	-195×8	275	2		3.4	7	
	5	-155×8	200	2		1.9	4	
	6	-210×8	250	1		3.3	3	
	7	-215×8	310	2		4.2	8	
	8	-60×8	90	19		0.3	6	
CC2	1	-60×8	90	16		0.3	5	222
	2	L70×5	5060	4		27.3	109	
	3	L50×5	3740	4		14.1	56	
	4	L63×5	2900	2		14.0	28	
	5	-220×8	235	2		3.2	6	
	6	-195×8	235	2		2.9	6	
	7	-235×8	370	1		5.5	6	
	8	-240×8	320	1		4.8	5	
	9	-80×8	80	2		0.4	1	

附注：

1. 未注明的焊缝焊脚尺寸为6mm。
2. 未注明长度的焊缝一律满焊。
3. 未注明的螺栓为 ϕ20,孔为21.5

图 7-121（*f*）　竖向支撑 CC1 和 CC2 详图

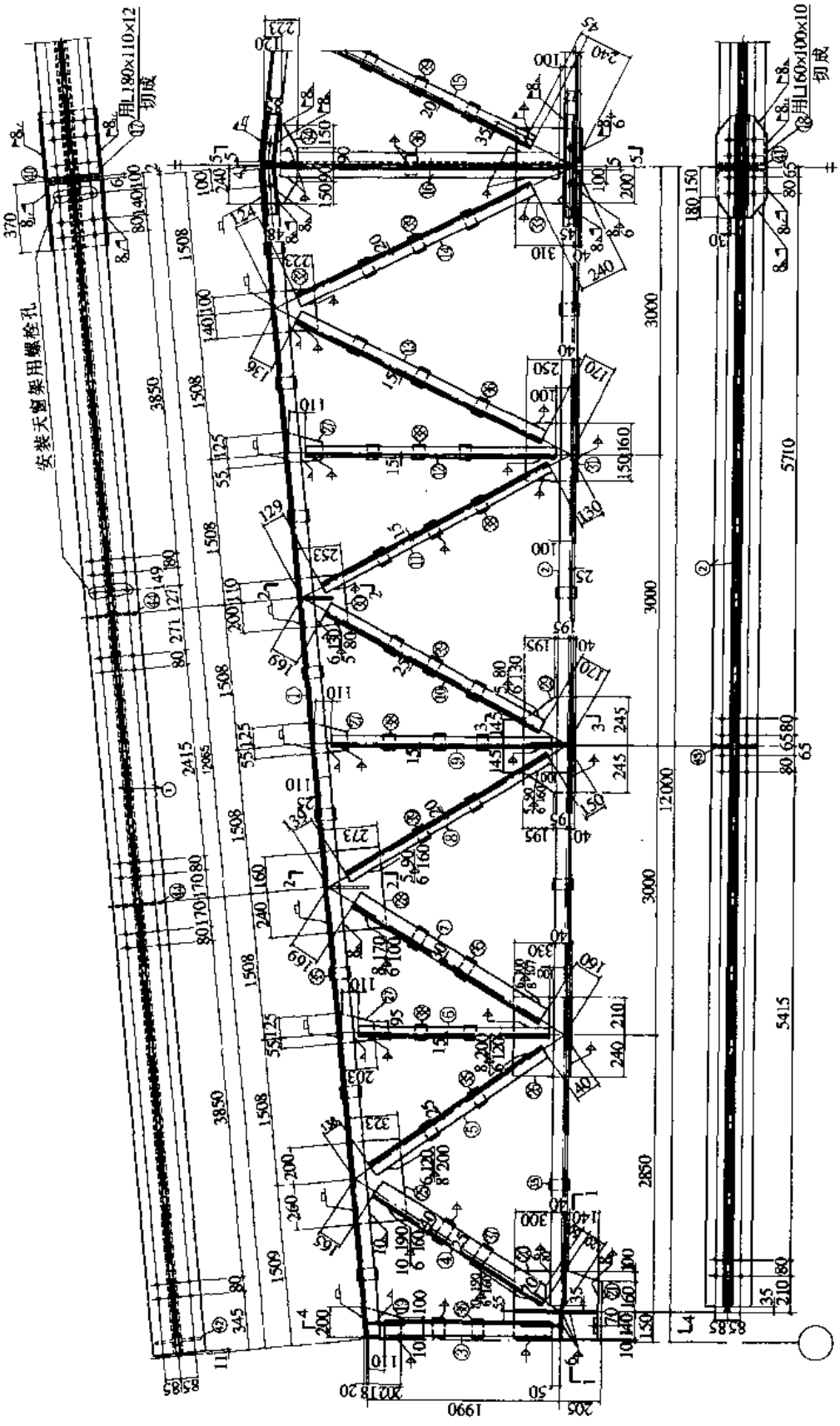
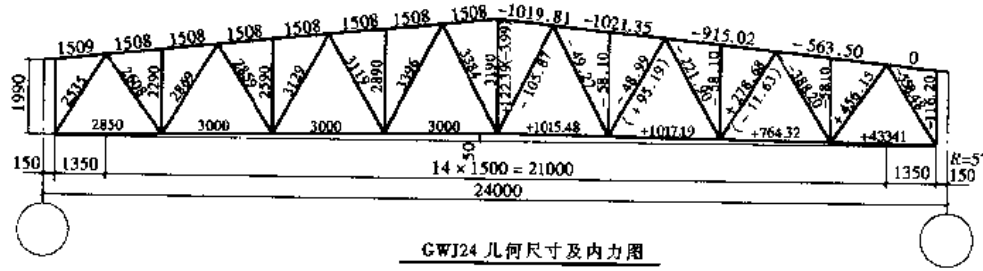
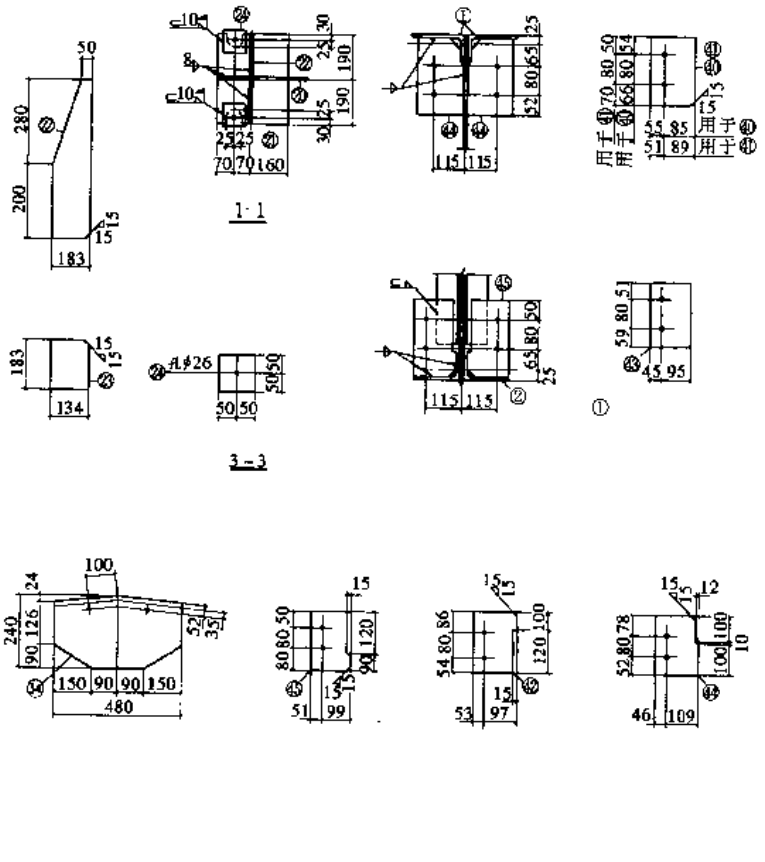


图 7-122（a）　屋架 GWJ24 详图（一）



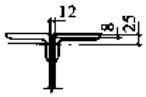


材料表

构件编号	零件号	断面	长度(mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
GWJ24	1	L180×110×12	12050	2	2	318.8	1275	3586
	2	L160×100×10	11810	2	2	234.7	939	
	3	L63×5	1830	4		8.8	35	
	4	L125×80×10	2250	2	2	34.8	139	
	5	L100×6	2300	4		21.6	86	
	6	L50×5	2080	4		7.8	31	
	7	L100×8	2540	4		31.2	125	
	8	L75×5	2570	4		15.0	60	
	9	L50×5	2380	4		9.0	36	
	10	L90×6	2790	4		23.3	93	
	11	L56×5	2860	4		12.2	49	
	12	L56×5	2680	4		11.4	46	
	13	L63×5	3090	4		14.9	60	
	14	L75×5	3020	2		17.6	35	
	15	L75×5	3020	1	1	17.6	35	
	16	L63×5	2970	2		14.3	29	
	17	L180×110×12	740	2		19.6	39	
	18	L160×100×10	660	2		13.1	26	
	19	−200×12	240	2		4.5	9	
	20	−400×14	480	2		21.1	42	
	21	−300×25	380	2		22.4	45	
	22	−183×12	480	4		8.3	33	
	23	−134×12	183	4		2.3	9	
	24	−100×25	100	4		2.0	8	
	25	−340×12	460	2		14.7	29	
	26	−330×12	450	2		15.7	31	
	27	−180×12	220	6		3.7	22	
	28	−290×12	400	2		10.9	22	
	29	−330×12	450	2		15.2	30	

材料表

构件编号	零件号	断面	长度(mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
GWJ24	30	−270×12	310	2		7.9	16	
	31	−290×12	310	2		8.5	17	
	32	−240×12	240	2		5.4	11	
	33	−350×12	400	1		13.2	13	
	34	−240×12	480	1		10.9	11	
	35	−60×12	130	32		0.7	22	
	36	−60×12	90	13		0.5	7	
	37	−60×12	145	4		0.8	3	
	38	−60×12	80	22		0.5	11	
	39	−60×12	110	16		0.6	10	
	40	−140×8	200	2		1.8	4	
	41	−140×8	200	2		1.8	4	
	42	−150×8	220	4		2.1	8	
	43	−140×8	190	4		1.7	7	
	44	−155×8	210	8		2.0	16	
	45	−150×8	210	4		2.0	8	



1.弦塞焊示意

附注：

1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为5mm，但在仅一侧注有焊脚尺寸 h_f 的双面角焊缝符号中，另一侧未注明的焊脚尺寸，则与 h_f 相同。
2. 未注明长度的焊缝一律满焊。
3. 未注明的螺栓为M20，孔为 ϕ21.5。

图 7-122（b） 屋架 GWJ24 详图（二）

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{150.8}{2.56} = 58.9 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{452.4}{6.85} = 66.1 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

由表 3-17：

$$b_1/t = \frac{140}{10} = 14 < 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{4524}{140} = 18.1$$

由表 3-17 中公式（3-53a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y = 66.1$$

查表 14-3 得：$\varphi_x = 0.814$，$\varphi_{yz} = 0.774$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} = \frac{538.0 \times 10^3}{0.774 \times 44.52 \times 10^2} = 156.1\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

该杆件为压杆，截面选择也可根据表 19-10 的承载力设计值查得。$N = -538.0$kN，$l_{0x} = 150.8$cm，$l_{0y} = 452.4$cm，选用截面┐┌140 × 90 × 10，两短肢相并，平面内稳定承载力 $[N] = -778$kN，平面外稳定承载力 $[N] = -734$kN，均大于杆件内力 $N = -538.0$kN，满足要求。由平面外稳定控制。

2）下弦杆 9～12

端节间杆件 9 由拉杆变为压杆，其余杆件仍为拉杆，且内力大小均较铰接时减小。故仅需按杆件 9 计算下弦杆是否满足要求。原拉杆 9，$N = 433.4$kN 见图 7-113。

$$N = -538 + 433.4 = -104.6\text{kN}$$，$l_{0x} = 300.0$cm，$l_{0y} = 1185$cm

选用截面┘└160 × 100 × 10，两短肢相并，

截面面积 $A = 50.63\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 2.85$cm，$i_y = 7.78$cm

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{300.0}{2.85} = 105.3 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$\lambda_y = \dfrac{l_{0y}}{i_y} = \dfrac{1185}{7.78} \approx 152.3 > [\lambda] = 150$ 不满足要求，可采用以下两种方案，解决此问题。

方案一：下弦增设一根系杆，系杆间距变为 6.0m、6.0m。此时，

$$l_{0y} = 600\text{cm},$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{600}{7.78} \approx 77.1 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面，满足要求。

由表 3-17：

$$b_1/t = \frac{160}{10} = 16 < 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{6000}{160} = 21$$

由表 3-17 中公式（3-53a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y = 77.1$$

查表 14-3 得：$\varphi_x = 0.521$，$\varphi_{yz} = 0.706$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{104.6 \times 10^3}{0.521 \times 50.63 \times 10^2} = 39.6\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

方案二：加大下弦截面，改为⌟⌞180 × 110 × 10，两短肢相并，

截面面积 $A = 56.75\text{cm}^2$，

回转半径：$i_x = 3.13\text{cm}$，$i_y = 8.71\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{300.0}{3.13} = 95.8 <$ ［λ］ $= 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{1185}{8.71} = 136.1 <$$ ［λ］ $= 150$，属 b 类截面。

由表 3-17：

$$b_1/t = \frac{180}{10} = 18 < 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{1185}{180} = 37$$

由表 3-17 中公式（3-53a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y = 136.1$$

查表 24-3 得：$\varphi_x = 0.582$，$\varphi_{yz} = 0.361$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{104.6 \times 10^3}{0.361 \times 56.75 \times 10^2} = 51\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

3）其余各杆件内力影响不大，从略，

（2）屋架支座节点设计（参照图 7-61）

1）上弦节点

盖板承受的内力按最大水平拉力 538kN 进行计算。

设盖板截面采用 - 200 × 16，$A = 20 \times 1.6 = 32\text{cm}^2$

盖板强度为：

$$\sigma = \frac{538 \times 10^3}{32 \times 10^2} = 168\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

盖板的连接焊缝计算，采用 $h_f = 12\text{mm}$，需要的焊缝长度为：

$$l'_w = \frac{538 \times 10^2}{2 \times 0.7 \times 12 \times 0.9 \times 160} + 2 \times 12 = 246\text{mm}$$，采用 $l'_w = 260\text{mm}$

上式分母中的 0.9 为高空安装焊缝的强度设计值折减系数。

盖板的长度为：

$$l = 2 \times 260 + 50 = 570\text{mm}$$

其他焊缝以及螺栓（M20）均按构造要求确定，不必计算。

2）下弦节点

所受的水平力：

$$\text{最大压力 } H = 538\text{kN}$$

竖向力：由永久荷载和屋面均布活荷载产生的竖向力为：

$$R_1 = 570.87\text{kN}$$

A. 支托的连接焊缝：设支托厚度 $t = 30\text{mm}$，与柱连接的两侧焊缝采用 $h_f = 12\text{mm}$，$\Sigma l_w = 350 + 350 = 700\text{mm}$，焊缝的强度为：

$$\tau_f = \frac{1.25R}{0.7h_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{1.25 \times 570.87 \times 10^3}{0.7 \times 12 \times 700} = 121.4\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

B. 连接竖直端板的螺栓（螺栓间距 100.8-M20）：

$$e_1 = 100 \quad N = H = 538\text{kN}$$

螺栓拉力 $T = \frac{N}{n} + \frac{Ney_1}{\Sigma y_i^2} = -\frac{538}{8} + \frac{538 \times 100 \times 150}{4\ (50^2 + 150^2)} = 13\text{kN}$ 构造控制。

C. 竖直端板厚度 t：设两列螺栓的距离 $b_1 = 120\text{mm}$，可参照（9-34），$t \geqslant \sqrt{\frac{6e_fN_t}{bf}} = \sqrt{\frac{6 \times 120/2 \times 13 \times 1000}{100 \times 205}} = 15\text{mm}$，因 N_t 很小，t 为构造控制取 20mm。

D. 节点板与竖直端板的连接焊缝：竖向力 $R = 570.87\text{kN}$ 由支托承受，水平力 $H = 538\text{kN}$，偏心弯矩：$M = 538 \times 50 = 26900\text{kN} \cdot \text{mm}$，采用 $h_f = 10\text{mm}$ 足够。

其他节点的计算从略。

（3）本例如考虑 50/10t 吊车荷载作用时：

1）屋架两端的弯矩大小不同，腹杆内力会发生较大的变化。

2）两端弯矩均使屋架向下弯曲，弦杆内力和屋架用钢量将大幅度增加。

3）对柱则相反，弯矩和计算长度减小，刚度增大。

4）整个结构受力复杂，安装麻烦。

为此，钢柱和钢屋架采用刚接，还是铰接需视具体情况面定。

【例题 7-10】　24m 梯形方钢管屋架计算

1. 设计资料

屋架跨度为 24m，屋架间距 6m，屋面坡度 1/10，屋面材料为 3.0m×6m 太空轻质大型屋面板（钢边框），外天沟。钢材为 Q235B，焊条为 E43 型。

2. 屋架形式及几何尺寸

屋架形式及几何尺寸如图 7-123 所示，上弦节间长度为 3016mm，均为节点荷载。

3. 支撑布置

上弦杆在屋架平面外的计算长度等于其节间长度，下弦杆在屋架平面外的计算长度为屋架跨度的一半，见图 7-124。

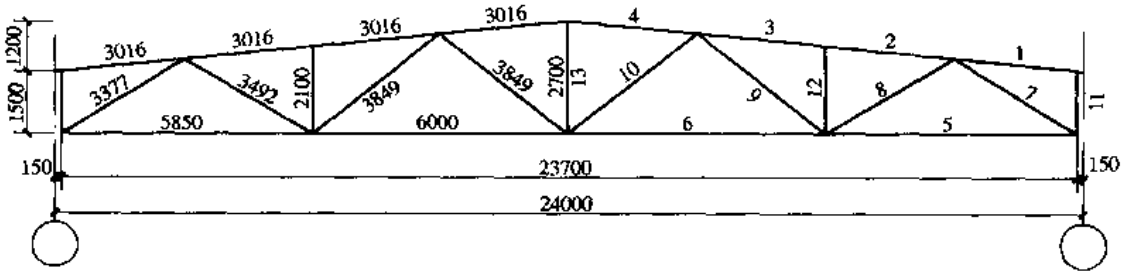


图 7-123 屋架几何尺寸

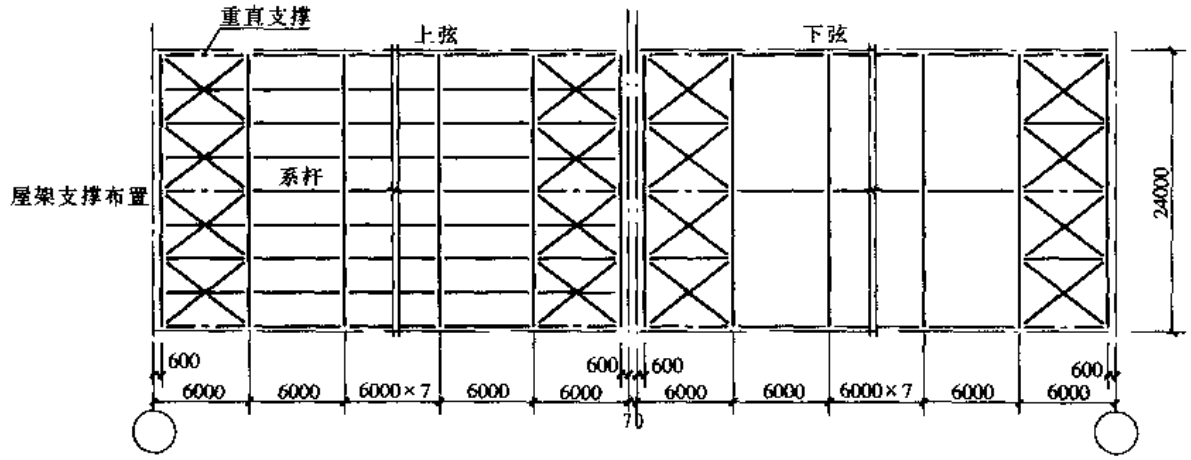


图 7-124 屋架平面布置

4. 荷载计算

(1) 永久荷载（恒荷载）

永久荷载	标准值（kN/m^2）
发泡水泥（太空）大型屋面板	0.65
防水层	0.10
屋架及支撑	0.10
悬挂管道	0.05
合计	0.90

(2) 可变荷载（活荷载）

可变荷载标准值：屋面活荷载为 $0.5kN/m^2$，雪荷载为 $0.35kN/m^2$，取两者中较大值 $0.5kN/m^2$。

(3) 风荷载

基本风压 $w_0 = 0.70kN/m^2$

(4) 荷载组合

1) 恒荷载 + 活荷载

2) 恒荷载 + 半跨雪荷载

3）全跨屋架及支撑重＋半跨屋面板＋半跨活荷载

4）恒荷载＋风荷载

(5) 上弦节点恒荷载和活荷载值，为可变荷载组合控制，见表7-20；作用位置见图7-125。

上弦节点荷载　　表7-20

节点荷载	标准值 P_k（kN）	设计值 P（kN）
恒荷载 Q_{Gk}	$0.9\times3\times6=16.2$	$1.2\times16.2=19.4$
活荷载 Q_Q	$0.5\times3\times6=9.0$	$1.4\times9.0=12.6$
总荷载		32.0

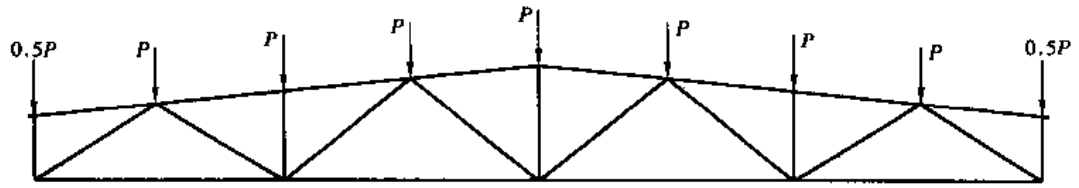


图7-125　屋架上弦节点荷载

(6) 上弦节点风荷载值，见图7-126

1）风载体型系数

迎风面：$\mu_s=-0.6$，背风面：$\mu_s=-0.5$

2）风压高度变化系数，本设计地面粗糙度为B类，屋架下弦标高为10.0m，坡度为1/10，风压高度变化系数，$\mu_z\approx1.00$，不计风振系数 β_z

计算主要承重结构：$w_k=\beta_z\mu_s\mu_z w_0$

迎风面：$w_{k1}=1.0\times(-0.6)\times1.0\times0.70=-0.42\text{kN/m}^2$

背风面：$w_{k2}=1.0\times(-0.5)\times1.0\times0.70=-0.35\text{kN/m}^2$

上弦节点风荷载

标准值　$w_{k1}=-0.42\times3.016\times6=-7.60\text{kN}$

$w_{k2}=-0.35\times3.016\times6=-6.33\text{kN}$

设计值　$w_1=1.4\times(-7.60)=-10.64\text{kN}$；$w_2=1.4\times(-6.33)=8.86\text{kN}$

w_1 和 w_2 均小于恒载标准值，风荷载不会引起内力变号，故可不考虑风荷载组合。

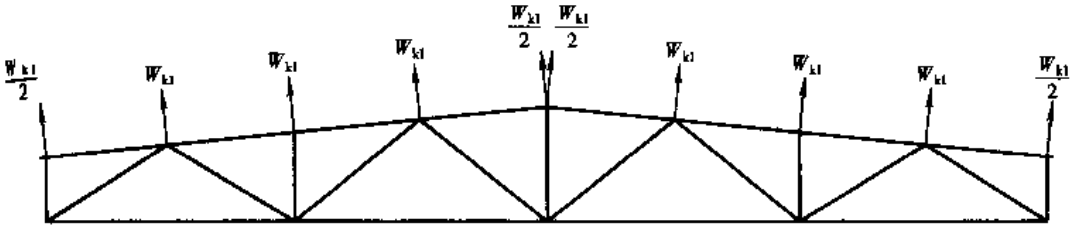


图7-126　屋架上弦节点风荷载

5. 内力计算

屋架杆件最不利内力组合见表7-21。

屋架内力组合 表 7-21

杆件名称	杆件编号	恒荷载在内力标准值 (kN)	活荷载在内力标准值 (kN)	最不利内力组合设计值 (kN)
上弦杆	1	-0	0	0
	2、3	-135.4	-75.2	-267.8
	4	-141.5	-78.6	-279.8
下弦杆	5	89.2	49.0	175.6
	6	147.7	82.0	292.1
斜腹杆	7	-106.2	-58.9	-210.0
	8	52.5	33.0/-3.9	109.4
	9	-17.3	-9.6	-34.2
	10	-9.6	-5.3	-18.9
竖杆	11	-8.0	-4.5	-16.0
	12	-16.2	-9.0	-32.0
	13	12.0	6.7	23.8

注：表中内力组合设计值为：1.2×恒荷载内力标准值+1.4×活荷载内力标准值。

6. 截面选择

见表 7-22

屋架杆件截面选用表 表 7-22

杆件名称	杆件编号	内力 N (kN)	截面规格 (mm)	截面面积 A (cm^2)	$\frac{b}{t}$	$\frac{b_e}{t}$	A_e (cm^2)	计算长度 l_{0x} (mm)	回转半径 i_x (cm)	长细比 λ_x	φ_{min}	$\frac{N}{\varphi_{min}A_e}$ 或 $\frac{N}{A}$ (N/mm^2)	容许长细比 λ
上弦杆	1-4	-279.9	□140×3.5	18.58	40	40	18.58	3016	5.53	54.5	0.837	180.0	150
下弦杆	5-6	292.1	□140×3.0	16.05	—	—	16.05	11850	5.56	213		182.0	350
斜腹杆	7	-210.1	□140×3.0	16.05	46.7	43.0	14.72	3377	5.56	60.7	0.815	175.2	150
	8	109.4	□80×2.0	6.07	—	—	6.07	3492	3.16	110.5		180.2	350
	9	-34.2	□80×2.0	6.07	40	40	6.07	3849	3.16	121.8	0.440	128.0	150
	10	-18.9	□80×2.0	6.07	40	40	6.07	3849	3.16	121.8	0.440	70.7	150
竖杆	11	-16.0	□50×2.0	3.67	25	25	3.67	1515	1.93	78.5	0.731	59.6	150
	12	-32.0	□50×2.0	3.67	25	25	3.67	2100	1.93	108.8	0.524	166.4	150
	13	23.8	□50×2.0	3.67	—	—	3.67	2700	1.93	140.0		64.8	350

(1) 上表 7-22 中 $\frac{b_e}{t}$ 系根据公式 7.13 计算。具体计算过程如下：

各杆件只考虑轴心受压，故压应力不均匀系数 $\psi=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}=1$

计算系数 $\alpha=1.15-0.15\psi=1$

板件受压稳定系数 $k=7.8-8.15\psi+4.35\psi^2=4$

板组约束系数 $k_1 = 1$

$$\sigma_1 = 0.8f = 0.8 \times 215 = 164\text{N/mm}^2$$

计算系数 $\rho = \sqrt{\frac{205k_1k}{\sigma_1}} = \sqrt{\frac{205 \times 1 \times 4}{164}} = 2.236$，

$18\alpha\rho = 18 \times 1 \times 2.236 = 40.2$

对于上弦杆□140×3.5，$\frac{b}{t} = \frac{140}{3.5} = 40 < 18\alpha\rho$，有 $\frac{b_e}{t} = \frac{b_c}{t} = \frac{b}{t} = 40$

对于斜腹杆采用□140×3.0，$18\alpha\rho < \frac{b}{t} = \frac{140}{3.0} = 46.7 < 38\alpha\rho = 38 \times 1 \times 2.236 = 85$

有 $\frac{b_e}{t} = \left(\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{\frac{b}{t}}} - 0.1\right) = \frac{b_c}{t} = \left(\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{\frac{b}{t}}} - 0.1\right) \times \frac{140}{3} = 43.0 < 46.7$

$$A_e = A - (b - b_e)\ t^2 \times 4 = 16.05 - (46.7 - 43.0) \times 0.3^2 \times 4 = 14.72\text{cm}^2$$

对于腹杆 9～12，均满足 $\frac{b}{t} < 18\alpha\rho$，有 $\frac{b_e}{t} = \frac{b_c}{t} = \frac{b}{t}$。

(2) 表 7-22 中 φ 值按表 14-11 查得，$\frac{N}{A}$ 或 $\frac{N}{\varphi_{min}A_e} \leqslant f$（表 2-3）。

7. 节点连接计算

(1) 一般杆件连接焊缝

节点杆件间连接焊缝可由公式（7-52）、（7-53）～（7-54）计算。最小焊脚尺寸为 3mm。采用四面围焊。

(2) 节点设计

1) 支座节点（图 7-123）

A. 确定支座底板尺寸

支座反力　　$R = (1.2 \times 16.2 + 1.4 \times 9.0) \times 4 = 128.2\text{kN}$

支座底板的平面尺寸取用 $A_l = 240 \times 280 = 67200\text{mm}^2$，

柱截面尺寸 $A_b = 300 \times 300 = 90000\text{mm}^2$

由公式（7-49）验算柱顶混凝土的抗压强度：

$$\frac{R}{A_n} = \frac{R}{A_l - A_0} = \frac{128.2 \times 10^3}{67200 - (40 \times 30 \times 2 + \pi \times 20^2)} = 1.99\text{N/mm}^2$$

$$< \beta_c f_{cc} = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} f_{cc} = \sqrt{\frac{67200}{67200}} \times 8.16 = 9.5\text{N/mm}^2$$

($f_{cc} = 0.85 \times 9.6 = 8.16\text{N/mm}^2$)

支座底板的厚度按屋架反力作用下的弯矩计算，由公式（7-50）得

$$M = \beta q a_1^2$$

式中

$$q = \frac{R}{A_0} = \frac{R}{A - A_0} = 1.99\text{N/mm}^2$$

$$a_1 = 160\text{mm},\ b_1 = 135\text{mm}$$

$$b_1/a_1 = \frac{135}{160} = 0.844$$

查表 7-10 得

$$\beta = 0.097$$

$M = \beta q a_1^2 = 0.097 \times 1.99 \times 160^2 = 4942\text{N/mm}^2$

支座底板厚度由公式（7.2-19）得

$t \geqslant \sqrt{6M/f} = \sqrt{6 \times 4942/205} = 12.0\text{mm}$，取 16mm。

B. 支座节点板、加劲肋与底板的连接焊缝

假定焊缝传递全部支座反力 $R = 128.2\text{kN}$

节点板厚度 $t = 10\text{mm}$，焊脚尺寸 $h_f = 6\text{mm}$

连接焊缝长度

$$\begin{aligned}\Sigma l_w &= 2 \times (240 - 2h_f) + 8 \times (140 - 5 - 15 - 2h_f) \\ &= 2 \times (240 - 2 \times 6) + 8 \times (140 - 5 - 15 - 2 \times 6) \\ &= 1320\text{mm}\end{aligned}$$

由公式（7-53）得

$$\frac{R}{0.7\beta_f h_f \Sigma l_w} = \frac{128.2 \times 10^3}{0.7 \times 1.22 \times 6 \times 1320} = 19.0\text{N/mm}^2 < f_f^w = 140\text{kN/mm}^2$$

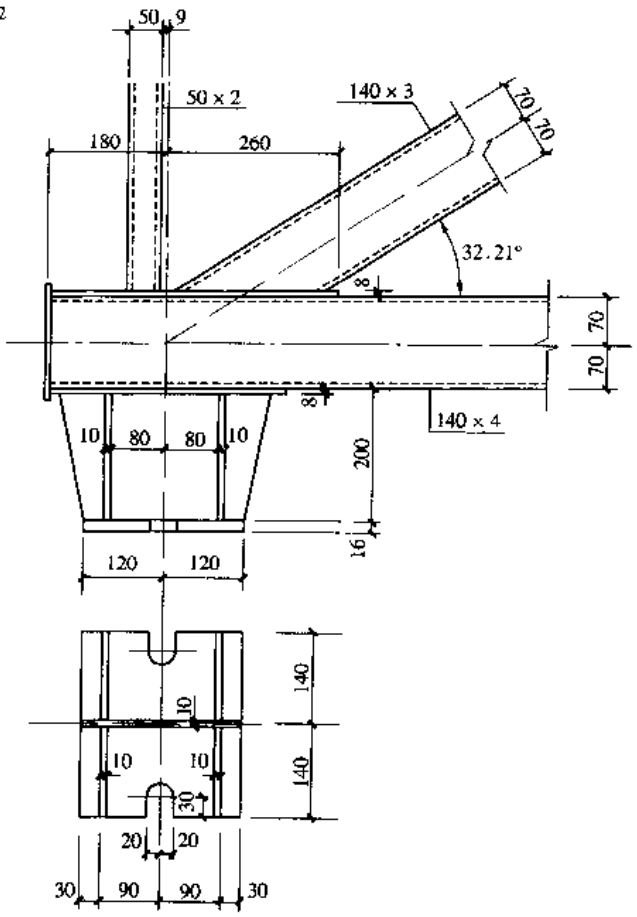


图 7-127 屋架支座节点

C. 支座节点板与加劲肋的连接焊缝

焊脚尺寸 $h_f = 6\text{mm}$

焊缝长度 $l_w = (200 - 8 - 2 \times 15 - 2h_f) = (200 - 8 - 2 \times 15 - 2 \times 6) = 150\text{mm}$

假定一块加劲肋承受屋架支座反力的八之一，即：

$$V = \frac{1}{8} \times 128.2 = 16.0\text{kN}$$

焊缝受剪力 $V = 16.0\text{kN}$，弯矩 $M = \frac{R \cdot l_b}{16} = \frac{V \cdot l_b}{2} = \frac{16.0 \times 135}{2} = 1080\text{kN} \cdot \text{mm}$

焊缝应力由公式（7-52）得

$$\sqrt{\left(\frac{V}{2 \times 0.7 \cdot h_f \cdot l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \times 0.7 \cdot \beta_f h_f \cdot l_w^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{16.0 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 150}\right) + \left(\frac{6 \times 1080 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 1.22 \times 6 \times 150^2}\right)^2}$$

$$= 30.8\text{N/mm}^2 < f_f^w = 140\text{N/mm}^2$$

D. 斜腹杆与垫板的连接焊缝

设焊脚尺寸 $h_f = 4\text{mm}$

焊缝长度 $l_w = 2 \times (140/\sin\theta + 140) - 2 \times 4 = 2 \times (140/\sin 32.21° + 140) - 8 = 797\text{mm}$

$N = 210.0\text{kN}$

代入公式（7-94）$\frac{N}{0.7\times h_f l_w}=\frac{210.0\times 10^3}{0.7\times 4\times 797}=94.1\text{N/mm}^2<140\text{N/mm}^2$

E. 竖杆与垫板的连接焊缝

设焊脚尺寸 $h_f=3\text{mm}$

焊缝长度 $l_w=4\times 50-2\times 3=194\text{mm}$

$$N=-16.0\text{kN}$$

代入公式（7-94）$\frac{N}{0.7\times h_f l_w}=\frac{16.0\times 10^3}{0.7\times 3\times 194}=39.3\text{N/mm}^2<140\text{N/mm}^2$

F. 下弦杆与垫板连接焊缝

下弦杆上、下垫板尺寸分别为 160×435×8mm 和 160×350×8mm，沿周边围焊能满足要求。

2）下弦拼装节点（图 7-128）

A. 下弦杆拼装接头

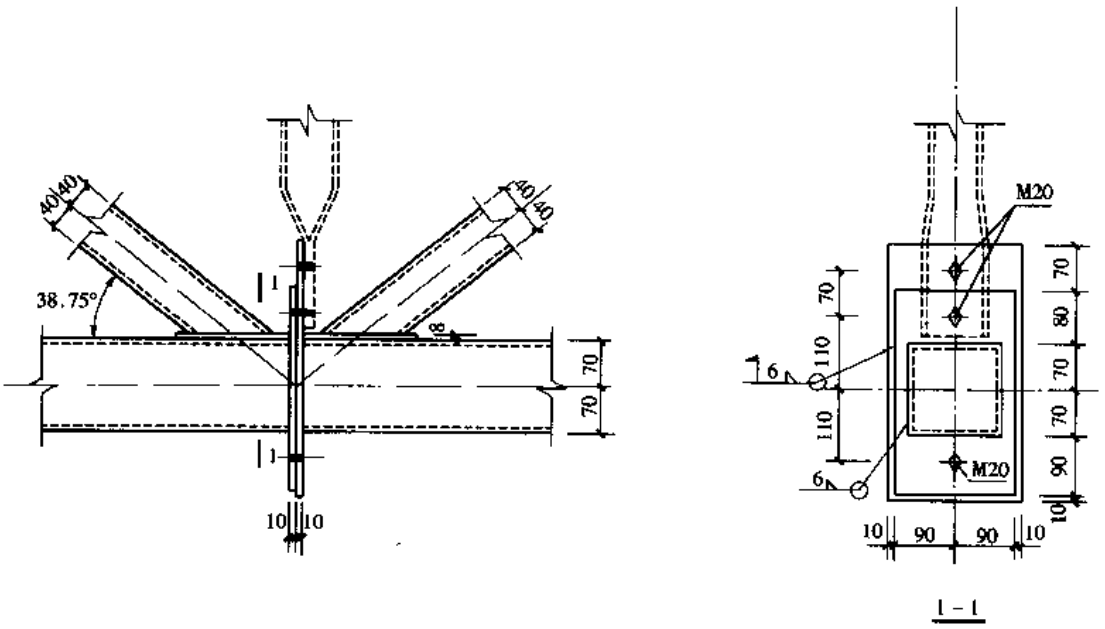


图 7-128　屋架下弦拼装节点

下弦杆拼装接头设在跨中，设焊脚尺寸 $h_f=6\text{mm}$

焊缝长度 $l_w=4\times 140-2\times 6=548\text{mm}$

$$N=292.1\text{kN}$$

代入公式（7-94）$\frac{N}{0.7\times h_f l_w}=\frac{292.1\times 10^3}{0.7\times 6\times 548}=126.9\text{N/mm}^2<140\text{N/mm}^2$

B. 中间斜腹杆与下弦杆连接焊缝

设焊脚尺寸 $h_f=3\text{mm}$

焊缝长度 $l_w=2\times 80+2\times 80/\sin\theta-2\times 3=410\text{mm}$，$\sin\theta=\frac{2400}{3842}=0.625$，

$$N = -34.2\text{kN}$$

代入公式（7-94）$\dfrac{N}{0.78 \times h_f l_w} = \dfrac{34.2 \times 10^3}{0.7 \times 3 \times 410} = 39.7\text{N/mm}^2 < 140\text{N/mm}^2$

3）屋脊节点（图 7-93）

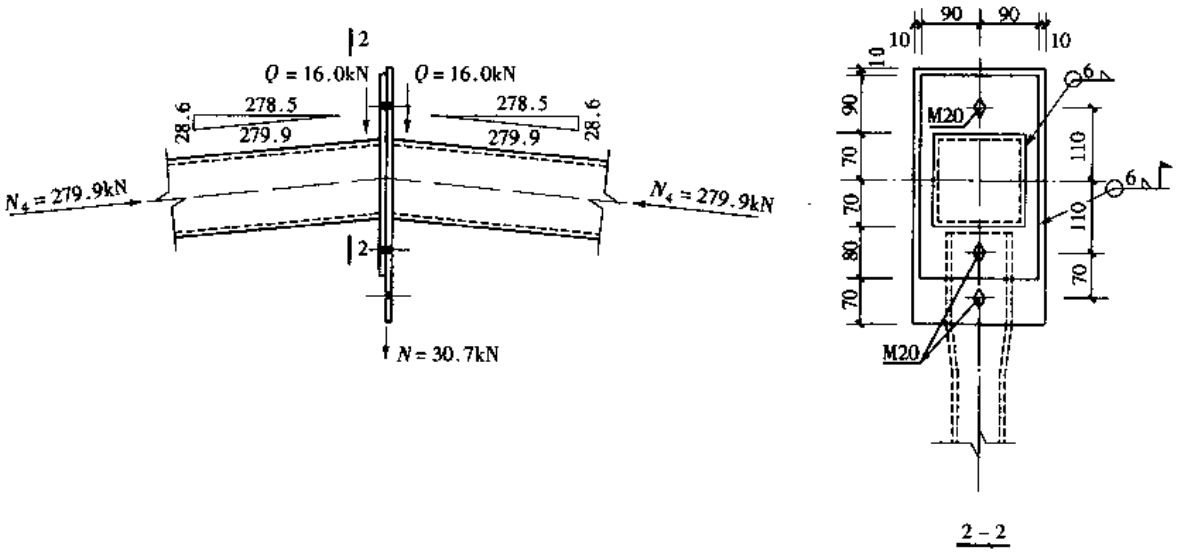


图 7-129 屋架屋脊节点

设焊脚尺寸 $h_f = 5\text{mm}$，$N_4 = -279.9\text{kN}$，节点传力 $N = N_4 \times \dfrac{10}{10.05} = 278.5\text{kN}$

焊缝长度 $l_w = 2 \times 140 + 2 \times 140 \times \dfrac{10.05}{10} - 2 \times 5 = 551.4\text{mm}$

代入公式（7-94）$\dfrac{N}{0.7 \times h_f l_w} = \dfrac{278.5 \times 10^3}{0.7 \times 5 \times 551.4} = 144.3\text{N/mm}^2 \approx 140\text{N/mm}^2$

如不满足，可要求上弦杆端刨平顶紧。

4）其他节点的连接计算

其他节点可根据图 7-63 及图 7-66 放样，均采用围焊，计算从略。

【例题 7-11】 24m 圆钢管屋架（GWJ-5）

1. 设计资料

屋架跨度为 24m，屋架间距 6m，屋面坡度 1/10，屋面材料为 3.0m×6m 太空轻质大型屋面板（钢边框），外天沟。钢材为 Q235B，焊条为 E43 型。

2. 屋架形式及几何尺寸

屋架形式及几何尺寸同例题 7-10。

3. 支撑布置

支撑布置同例题 7-10。

4. 荷载及内力组合

荷载及内力组合同例题 7-10。

5. 截面选择

杆件截面见表 7-23。

屋架杆件截面选用表　　表 7-23

杆件名称	杆件编号	内力 N (kN)	截面规格 (mm)	截面面积 (cm^2)	计算长度 l_0 (mm)	回转半径 i (cm)	长细比 λ_x	φ_{min}	强度 $\frac{N}{A}$ (N/mm^2)	稳定性 $\frac{N}{\varphi_{min}A_e}$ (N/mm^2)	容许长细比 λ
上弦杆	1-4	-279.8	ϕ159×3.5	17.10	3016	5.50	54.8	0.836		195.8	150
下弦杆	5-6	292.1	ϕ159×3.5	17.10	11850	5.50	215.5		170.8		350
斜腹杆	7	-210	ϕ133×3.5	14.24	3377	4.58	73.7	0.757		194.8	150
	8	109.4	ϕ89×2.5	6.79	3492	3.06	114.1		161.1		350
	9	-34.2	ϕ89×2.5	6.79	3849	3.06	125.8	0.418		120.5	150
	10	-18.9	ϕ89×2.5	6.79	3849	3.06	125.8	0.418		66.6	150
竖杆	11	-16.0	ϕ57×2.0	3.46	1515	1.95	77.7	0.735		62.9	150
	12	-32.0	ϕ57×2.0	3.46	2100	1.95	107.7	0.532		173.8	150
	13	23.8	ϕ57×2.0	3.46	2700	1.95	138.5		68.8		350

注：表中 φ 按表 14-11 查得，N/A 或 $N/\varphi_{min}Ae \leqslant f$（表 2-3）。

6. 节点连接计算

（1）支管与主管相交节点处（K 型节点）的强度验算（图 7-130a）

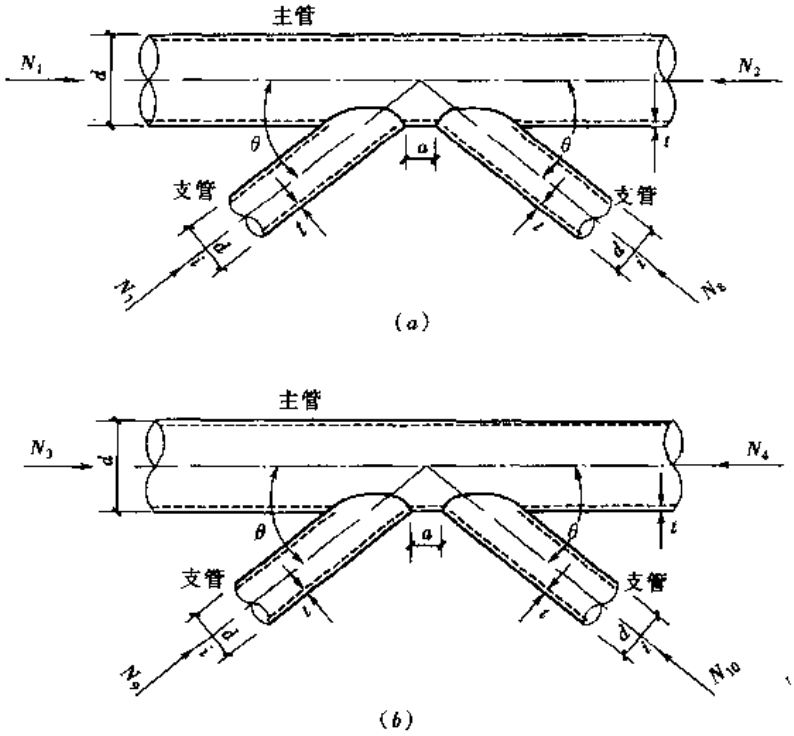


图 7-130　支管与主管相交节点构造

1）受压支管在主管节点处的承载力设计值 N_{ck}^{Pj}，由公式（7-72）得

$$N_{ck}^{Pj}=\frac{11.51}{\sin\theta_c}\left(\frac{d}{t}\right)^{0.2}\times\psi_n\psi_d\psi_a t^2 f$$

式中 $\theta_c = 26.5°$；$d = 159\text{mm}$；$t = 3.5\text{mm}$

$$\psi_n = 1 - 0.3\frac{\sigma}{f_y} - 0.3\left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2 = 1 - 0.3\frac{N_1}{Af_y} - 0.3\left(\frac{N_1}{Af_y}\right)^2$$

$$= 1 - 0.3 \times \frac{0}{17.10 \times 10^2 \times 205} - 0.3 \times \left(\frac{0}{17.10 \times 10^2 \times 205}\right)^2 = 1$$

$$\beta = \frac{d_i}{d} = \frac{133}{159} = 0.836 > 0.7$$

$$\psi_d = 2\beta - 0.68 = 2 \times 0.836 - 0.68 = 1.0$$

由公式（7-73）得

$$\psi_a = 1 + \left(\frac{2.19}{1 + 7.5a/d}\right)\left(1 - \frac{20.1}{6.6 + d/t}\right)(1 - 0.77\beta)$$

$$= 1 + \left(\frac{2.19}{1 + 7.5 \times \frac{42.6}{159}}\right)\left(1 - \frac{20.1}{6.6 + \frac{159}{3.5}}\right)(1 - 0.77 \times 0.836)$$

$$= 1.16$$

代入公式（7-74）得

$$N_{ck}^{Pj} = \frac{11.51}{\sin\theta_c}\left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \times \psi_n\psi_d\psi_a t^2 f$$

$$= \frac{11.51}{\sin 26.5°}\left(\frac{159}{3.5}\right)^{0.2} \times 1 \times 1.0 \times 1.16 \times 3.5^2 \times 205$$

$$= 161.2\text{kN} < 210.1\text{kN}$$

应将上弦加设垫板即可满足要求。

下面对于杆件 3、4 间的节点进行验算。见图 7-130*b*。

2）受压支管在主管节点处的承载力设计值 N_{ck}^{Pj}，由公式（7-72）得

$$N_{ck}^{Pj} = \frac{11.51}{\sin\theta_c}\left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \cdot \psi_n \cdot \psi_d \cdot \psi_a \cdot t^2 \cdot f$$

式中 $\theta_c = 32.9°$；$d = 159\text{mm}$；$t = 3.5\text{mm}$

$$\psi_n = 1 - 0.3\frac{\sigma}{f_y} - 0.3\left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2 = 1 - 0.3\frac{N_3}{Af_y} - 0.3\left(\frac{N_3}{Af_y}\right)^2$$

$$= 1 - 0.3 \times \frac{267.8 \times 10^3}{17.10 \times 10^2 \times 205} - 0.3 \times \left(\frac{267.8 \times 10^3}{17.10 \times 10^2 \times 205}\right)^2 = 0.596$$

$$\beta = \frac{d_i}{d} = \frac{133}{159} = 0.836 > 0.7$$

$$\psi_d = 2\beta - 0.68 = 2 \times 0.836 - 0.68 = 1.0$$

由公式（7-73）得

$$\psi_a = 1 + \left(\frac{2.19}{1 + 7.5a/d}\right)\left(1 - \frac{20.1}{6.6 + d/t}\right)(1 - 0.77\beta)$$

$$= 1 + \left(\frac{2.19}{1 + 7.5 \times \frac{42.6}{159}}\right)\left(1 - \frac{20.1}{6.6 + \frac{159}{3.5}}\right)(1 - 0.77 \times 0.836)$$

$$= 1.16$$

代入公式（7-72）得

$$N_{ck}^{Pj}=\frac{11.51}{\sin\theta_c}\left(\frac{d}{t}\right)^{0.2}\times\psi_n\psi_d\psi_a t^2 f$$

$$=\frac{11.51}{\sin32.9°}\left(\frac{159}{3.5}\right)^{0.2}\times0.596\times1.0\times1.16\times3.5^2\times205$$

$$=78.9\text{kN}>34.2\text{kN}\text{ 可。}$$

3）受拉支管在节点处的承载力设计值验算

$$\theta_c=35.74°$$

由公式（7-74）得

$$N_{tk}^{Pj}=\frac{\sin\theta_c}{\sin\theta_t}N_{ck}^{Pj}=\frac{\sin26.5°}{\sin36.74°}\times172.5=128.7\text{kN}>109\text{kN}$$

7. 节点连接焊缝计算

计算方法参见例题 7-10，圆管相贯连接的焊缝长度可由公式（7-32）及（7-33）计算求得。

8. 支座节点及上、下弦拼装节点

支座节点及上、下弦拼装节点如图 7-131、图 7-132 及图 7-133 所示，计算方法同例题 7-10。

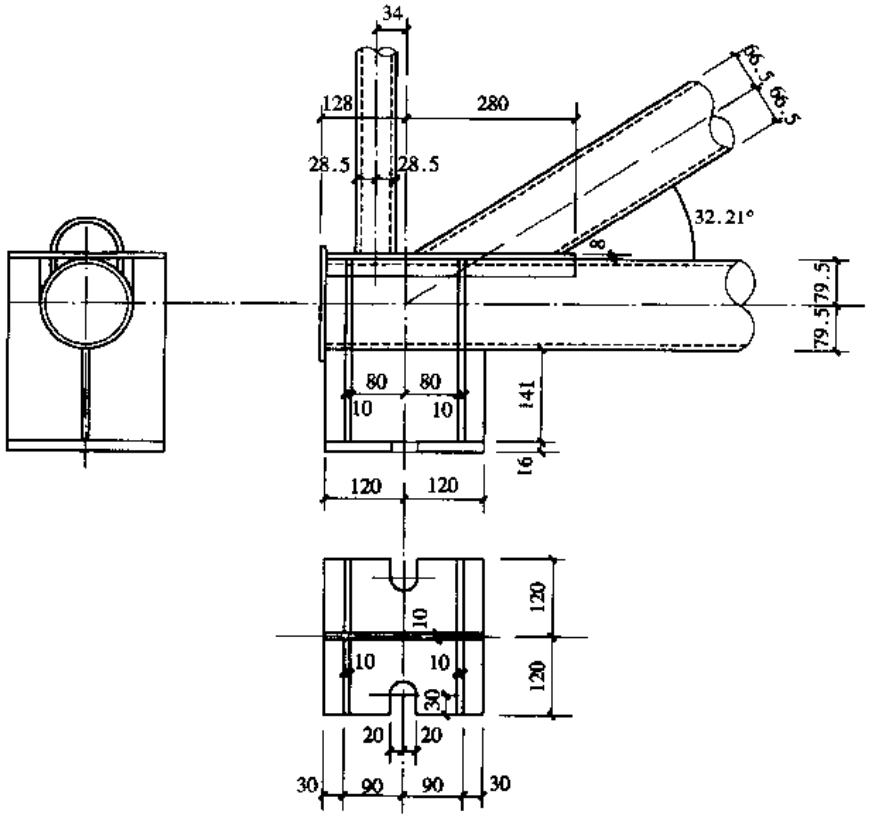


图 7-131　圆管屋架支座节点

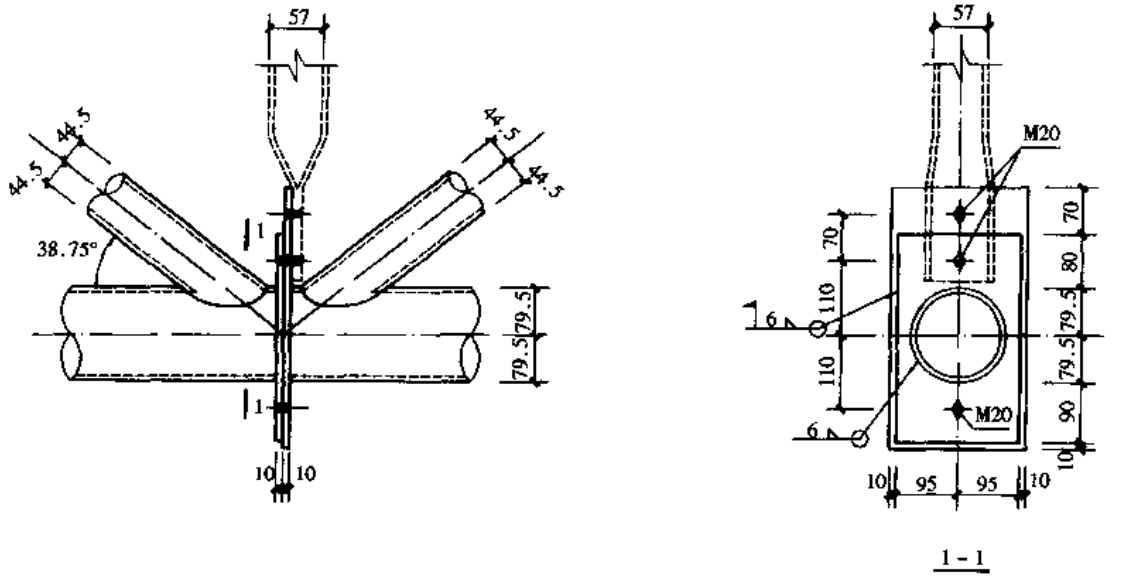


图 7-132 下弦拼装节点

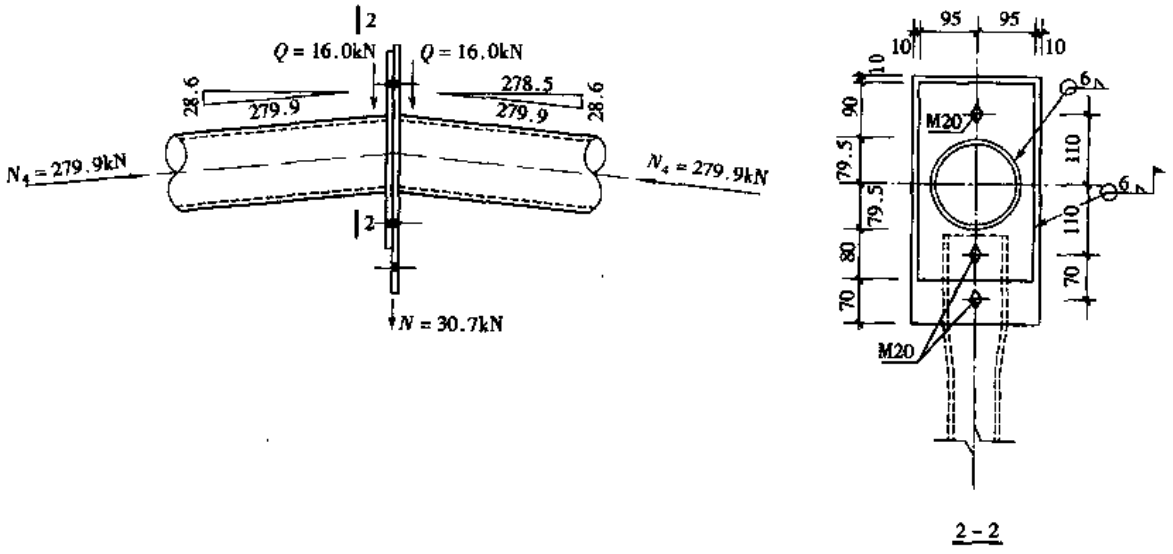


图 7-133 屋脊节点

7.3 托架和托梁

7.3.1 托架和托梁的形式和尺寸

1. 当柱距大于屋架间距时，应沿纵向柱列布置托架或托梁以支承中间屋架。当为桁架时，称为托架，当为实腹梁时称为托梁。在一般情况下采用托架，当屋架为三角形屋架，纵向柱高度受到限制或有其他特殊要求时才采用托梁。托架和托梁的跨度一般≥12m，与柱的连接一般为铰接。

根据构件的截面形式，托架可分为单壁式托架和双壁式托架（图 7-134）。通常情况下多采用单壁式托架。当需要抵抗扭转及跨度和荷载较大时，可采用双壁式托架。托架跨度一般为 12 ~ 36m。

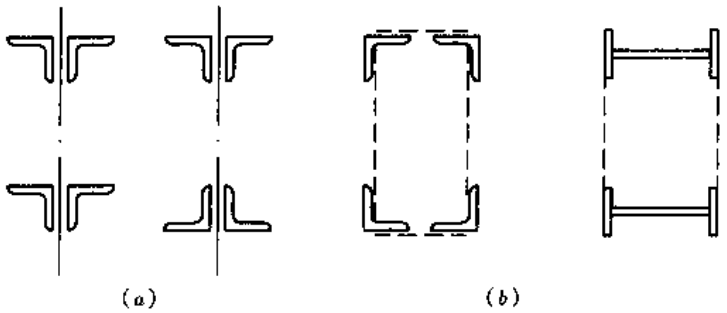


图 7-134　托架的截面形式

（a）单壁式托架；（b）双壁式托架

2. 托架一般为平行弦桁架，腹杆通常采用带竖杆的人字式（图 7-135）。直接支承于钢筋混凝土柱上的托架，支座斜杆常采用上升式（图 7-135*a*，*b*），支于钢柱（或钢筋混凝土柱上的短钢柱）时，支座斜杆常用下降式（图 7-135*c*、*d*）。

支承于钢柱的托架跨度和荷载都较大(跨度大于 24m)时，为节省钢材及增加纵向柱列刚度，有时设置八字撑作为托架的附加支点（图 7-135*d*）。此种托架应按超静定结构计算，并应使吊车梁制动结构及连接能承受八字撑传来的附加水平拉力，同时还应控制地基差异沉降在规范允许的范围之内。

有时为了与屋架的连接方便，托架与中间屋架相连处的竖腹杆采用中间分离的组合腹杆；或为了托架中部及端部的屋架连接构造统一，腹杆也可采用劲性短柱与屋架连接。

托架高度应根据所支承的屋架端部高度、刚度要求、净空尺寸，以及构造要求等条件来确定，一般取跨度的 1/5 ~ 1/10，跨度大（或承受荷载较小）时取较小值，跨度小（或承受荷载较大）时取较大值。

3. 屋架与托架的连接应尽量采用平接（图 7-136*a*）。平接可使托架在使用中不致于过

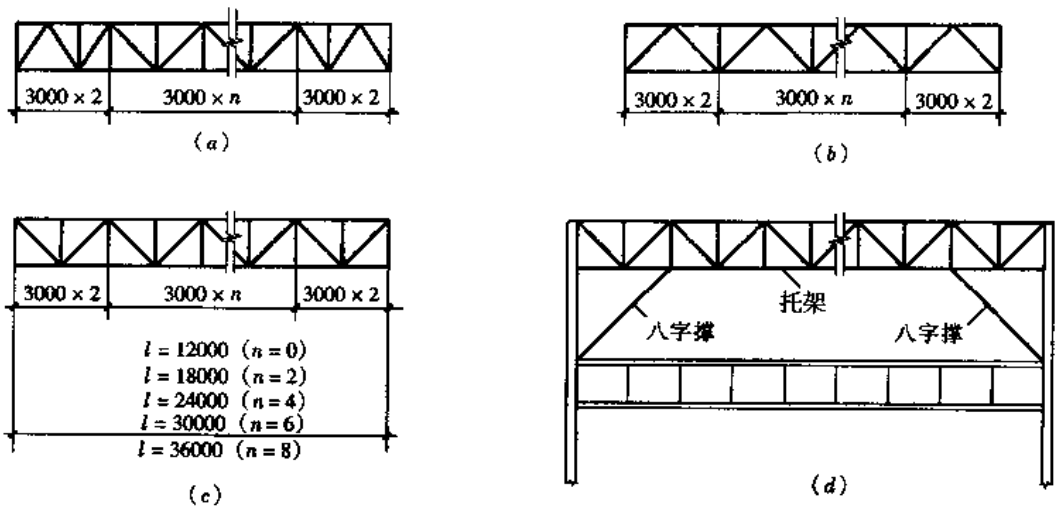


图 7-135　托架的形式

分扭转，且使屋盖整体刚度较好。但横向天窗屋盖以及三角形屋架或钢筋混凝土屋架等与托架（梁）连接应采用叠接（图 7-136b）。

在中间柱列处，当两侧屋架标高相同时，如平接，宜共用一榀托架（图 7-136a）；如必须采用叠接，最好用两榀托架各自独立，以免相邻屋架反力不同，使托架产生过大的扭转变形。当两侧屋架标高不等时，可根据具体情况采用图 7-136（c）、（d）、（e）的连接形式。

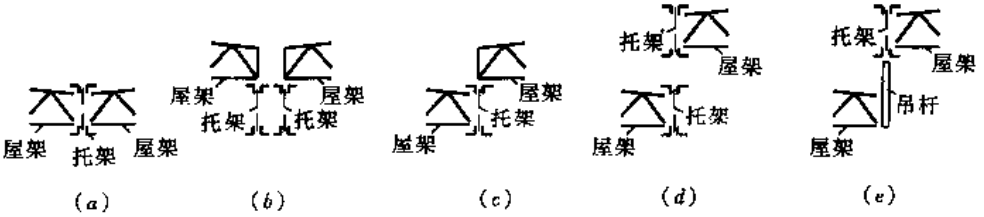


图 7-136 中间柱列处屋架与托架的连接形式

4. 托梁一般采用焊接工字形截面，当屋架荷载偏心产生较大扭矩时，可采用箱形截面。

焊接工字形截面（图 7-137）的截面尺寸可用下列方法予以估算：

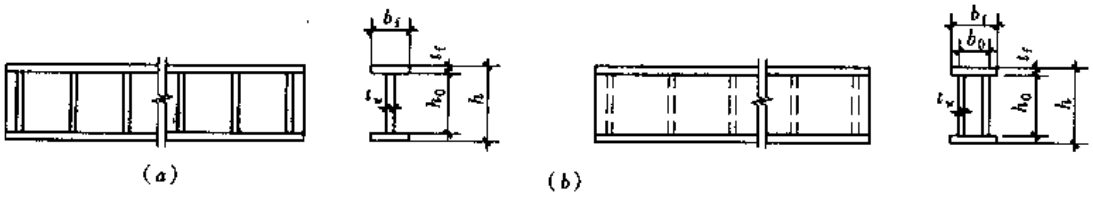


图 7-137 托梁的形式及尺寸

（a）工字形截面；（b）箱形截面

截面高度应根据建筑净空、刚度和经济要求确定，在一般情况下，腹板高度 h_w（cm）可按下式计算：

$$h_w = 3W^{0.4}$$

式中 $W = M_{max}/(1.05f)$ —需要的截面抵抗矩（cm^3），M_{max}为托梁在荷载作用下的最大弯矩设计值，f 为托梁钢材强度设计值。

腹板厚 t_w（cm）可用下列经验公式估算：

$$t_w = \sqrt{h_w}/11$$

一个翼缘的截面积可按下式计算：

$$A_f = \frac{W}{h_w} = \frac{1}{6} t_w h_w$$

翼缘板厚度 $t_f = A_f/b_f$，翼缘板宽度 $b_f = (1/2.5 \sim 1/5)\ h$。式中 h 为梁高，一般采用单层翼缘板，当单层翼缘板厚度过大时可采用两层板。另外受压翼缘板自由外伸宽度 b 与厚度 t 之比应满足下式要求：

$$\frac{b}{t} \leqslant 13\sqrt{235/f_y}$$

当计算梁抗弯强度取 $\gamma_x = 1.0$ 时，可放宽至 $15\sqrt{235/f_y}$。

当托梁跨度较大高度又受到限制、或要求有较高的抗扭能力（例如中间柱列的托梁）时，宜采用箱形截面。箱形面高度可比工字形截面高度小，其腹板水平距离 b_0 应满足 $b_0 \geqslant 0.1h$，一般取 $b_0 = (1/4 \sim 1/2)\ h$。受压翼缘的内宽厚比应满足下式要求：

$$\frac{b_0}{t} \leqslant 40\sqrt{235/f_y}$$

7.3.2　托架和托梁的设计特点

1. 简支托架的设计方法与普通钢屋架相同，其上弦杆和下弦杆在桁架平面外的计算长度取侧向支承点间的距离（通常取相邻屋架间的距离），其他杆件的计算长度均按表 3-22 确定。

当屋架与托架平接面屋架下弦与托架下弦距离 h（图 7-138）较大时，与屋架相连的托架竖杆宜采用刚度较大的截面（如工字形截面）。若距离 $h \leqslant 1000$mm，中间屋架仍可视为托架下弦的侧向支承点。

托架杆件截面的选择和杆件连接计算均可参照普通钢屋架的设计进行。

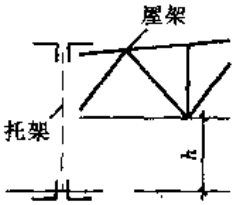


图 7-138　屋架与托架不等高的连接

托架一般可不起拱。

2. 托梁按第 7.3.1 条确定截面的初步尺寸后，应计算其强度、整体稳定性和挠度，并根据局部稳定要求确定腹板加劲肋的间距和截面尺寸。此外，还要计算支承加劲肋和翼缘与腹板的连接焊缝等。具体计算方法可参考第 8 章和第 12 章。

托梁在全部荷载标准值作用下产生的挠度容许值按表 2-11 选取，一般取 $[v_T] = 1/400$。

3. 当屋架与托架或托梁叠接时，应尽量使屋架支座反力（或支座反力的合力）作用点接近于托架或托梁的截面中心线上，以免产生过大的扭矩。此外，叠接时，托架或托梁的支座处应采取构造措施，防止其端截面的扭转，见图 7-139。

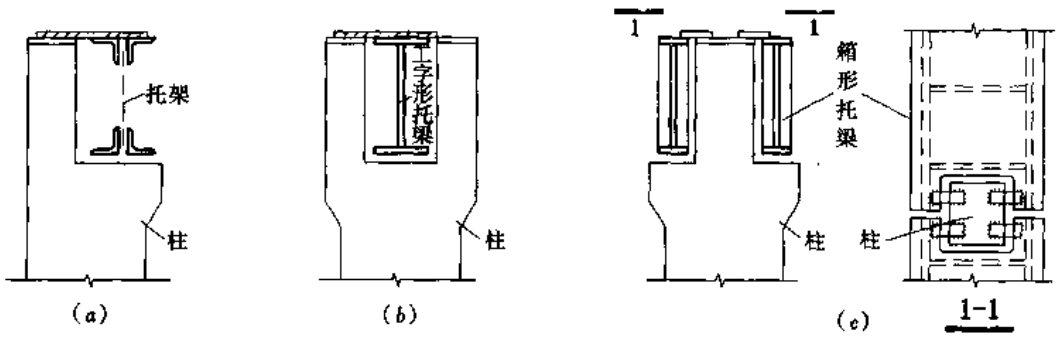


图 7-139　托架、托梁与钢筋混凝土柱的抗扭连接
（a）托架；（b）工字形托梁；（c）箱形托梁

7.3.3　托架和托梁的连接构造

1. 图 7-140 和图 7-141 是托架和屋架与钢柱的连接。在图 7-141 中，托架的主要支承点在柱顶，安装方便，可在柱的宽度较大时采用。

2. 屋架铰接支承于钢筋混凝土柱的托架、屋架连接构造如图 7-142 至图 7-145 所示。

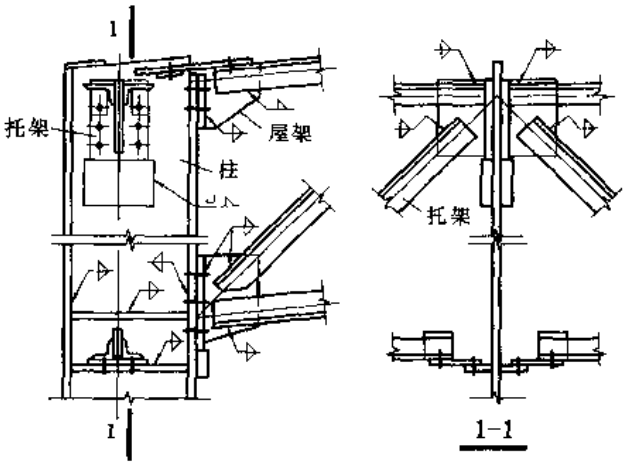


图 7-140 托架、屋架与钢柱的连接（一）

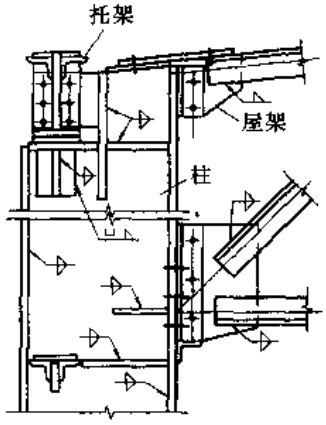


图 7-141 托架、屋架与钢柱的连接（二）

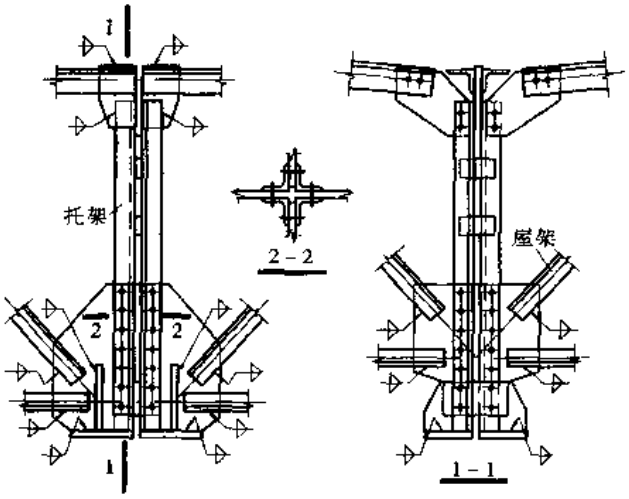


图 7-142 托架与屋架(与柱铰接)的连接(一)

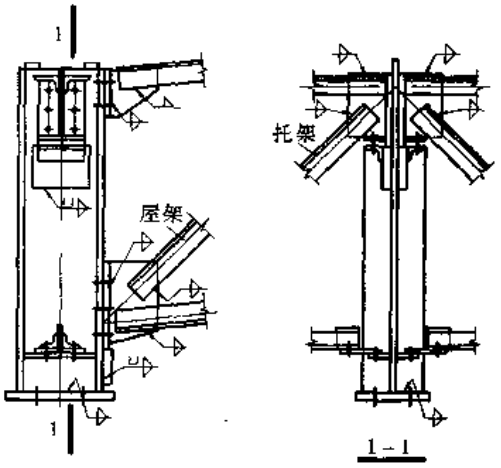
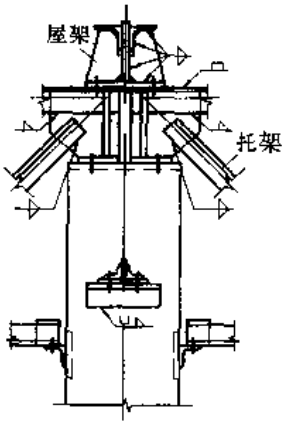


图 7-143 托架与屋架(与柱铰接)的连接(二)



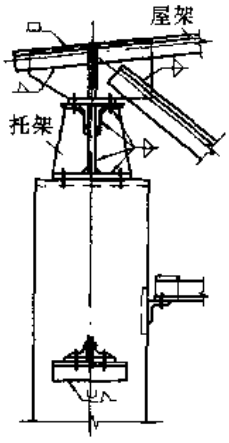
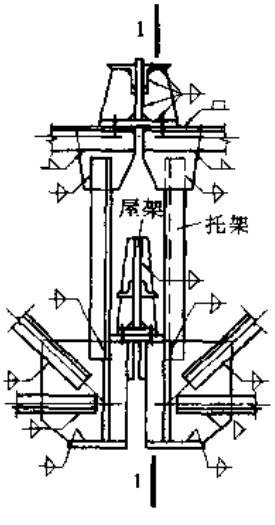


图 7-144 托架与屋架（与柱铰接）的连接（三）



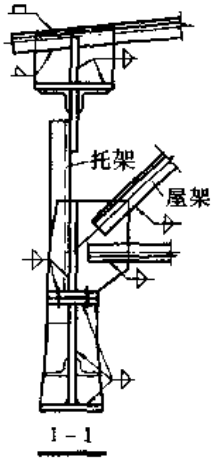


图 7-145 托架与屋架（与柱铰接）的连接（四）

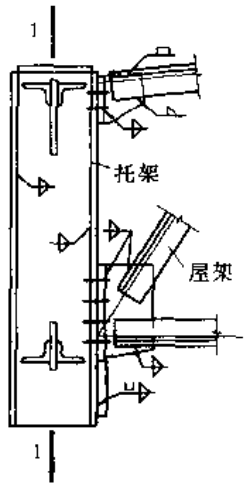
在图 7-142 中，托架支承于柱顶，其构造与屋架支座节点类似。而屋架用高强度螺栓连接于托架竖杆上。

图 7-143 为托架与厂房柱柱顶连接。其构造与图 7-140 相似，但屋架端部为铰接，故上弦不加盖板。

图 7-144 中，托架和屋架的支座斜杆均为下降式，厂房柱延伸至上弦处，安装较方便。

图 7-145 中，在屋架连接处，托架的竖杆为分离式。

3. 中间屋架与托架的平接连接构造如图 7-146 至图 7-149 所示。



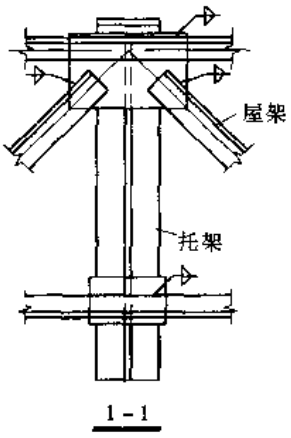
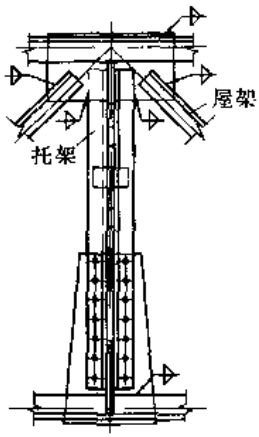


图 7-146　中间屋架与托架的连接（一）



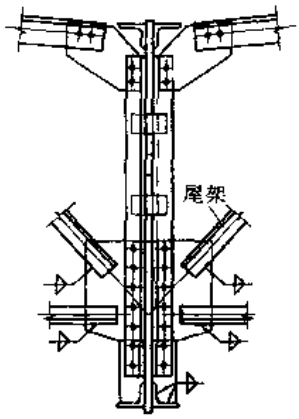
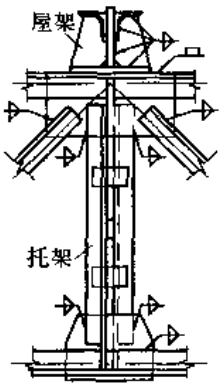


图 7-147　中间屋架与托架的连接（二）



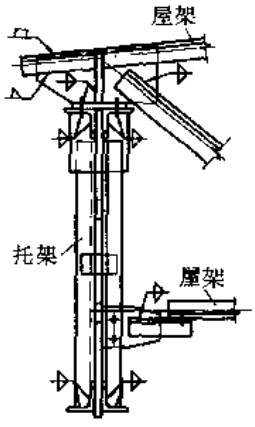
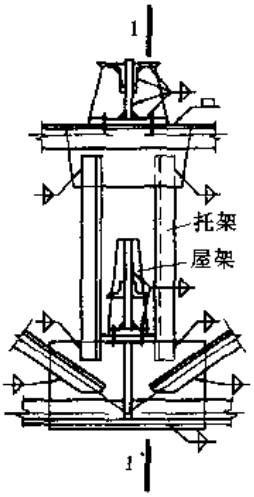


图 7-148　中间屋架与托架的连接（三）



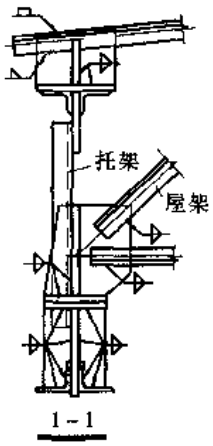


图 7-149　中间屋架与托架的连接（四）

图 7-146 中，与屋架相连的托架竖杆采用短钢柱（托架的上、下弦穿过短钢柱的腹板并焊接），这样可使中间屋架与柱头处的屋架构造统一。当托架竖杆截而与框架柱（图 7-43）或支承于框架的短钢柱（图 7-143）截而高度相同时，屋架的编号也有可能相同。

在图 7-147 中，屋架用高强度螺栓连于托架竖杆上。此图与图 7-142 配合使用时，屋

架的编号可望统一。

在图 7-148 中，屋架支座斜杆为下降式。此图与图 7-149 配合使用，屋架的编号可以统一。

在图 7-149 中，与屋架连接处，托架为分离式竖杆。此图可与图 7-145 配合使用。

4. 屋架与托梁的叠接连接构造如图 7-150 所示。

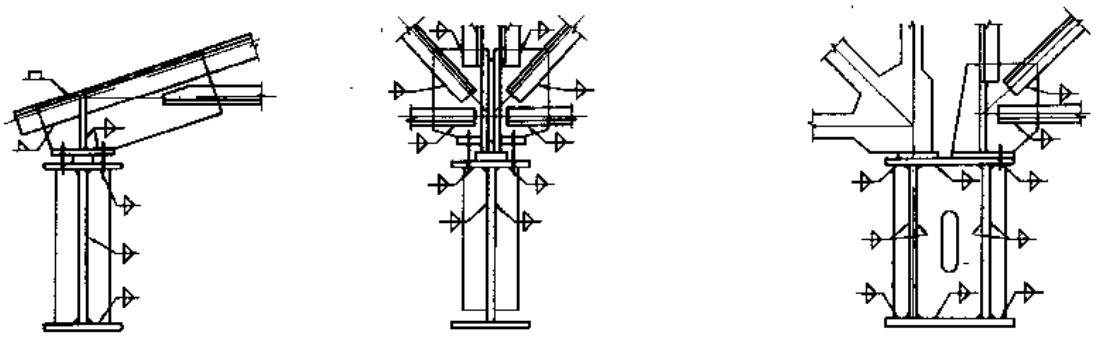


图 7-150 屋架与托架的连接

5. 有八字撑的托架（图 7-135*d*），撑杆与托架的连接处，交汇于节点的四根杆件均受压，应注意此处的侧向刚度。当屋架端部高度比托架高度小得很多，致使屋架下弦与托架下弦距离较大时，应在托架下弦节点处设置侧向支撑（图 7-151）。

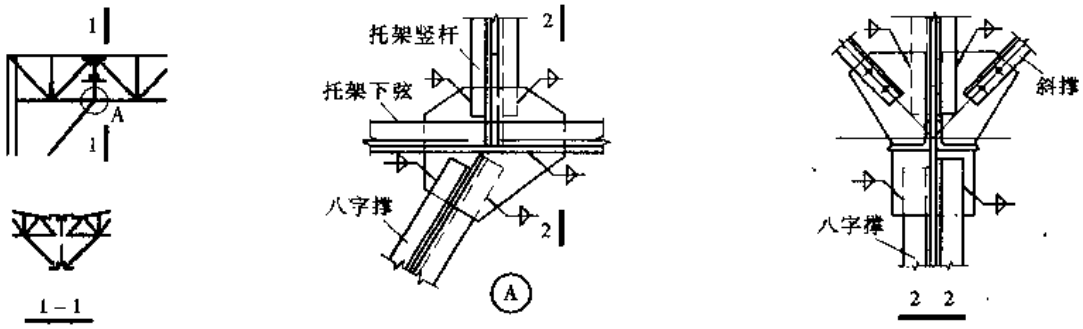


图 7-151 有八字撑的托架节点

7.3.4 托架设计实例

【例题 7-12】 12m 钢托架计算

1. 设计资料及说明

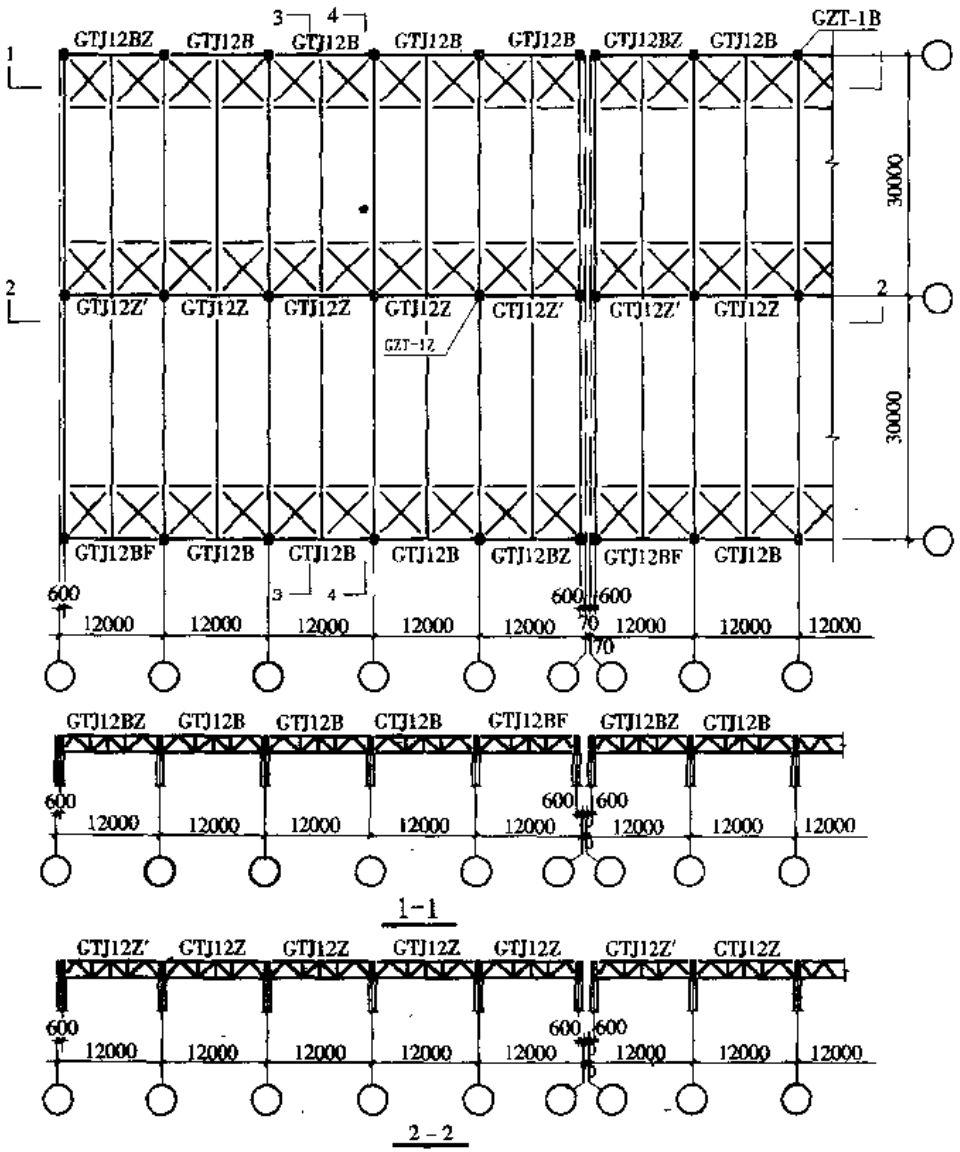
某双跨具有重级工作制（A6）吊车的厂房，跨度均为 30m，柱距为 12m，采用大型屋面板屋面，屋面恒荷载标准值为 3.3kN/m²（包括钢结构自重），活荷载为 0.5kN/m²，均以水平投影面积计。屋架间距为 6m，设有屋架下弦纵向支撑，托架平面布置示意如图 7-152 所示，中列柱的钢托架的几何简图如图 7-153 所示。托架两端的屋架反力直接传于柱顶，托架仅承受中间两榀屋架的反力。托架采用 Q235B，焊条采用 E43 型。图中尺寸为 mm。

2. 荷载与内力计算

（1）荷载计算

1）屋面均布恒荷载及活荷载标准值 $Q_k = 3.3 + 0.5 = 3.8\text{kN/m}^2$

2）屋面均布恒荷载及活荷载设计值



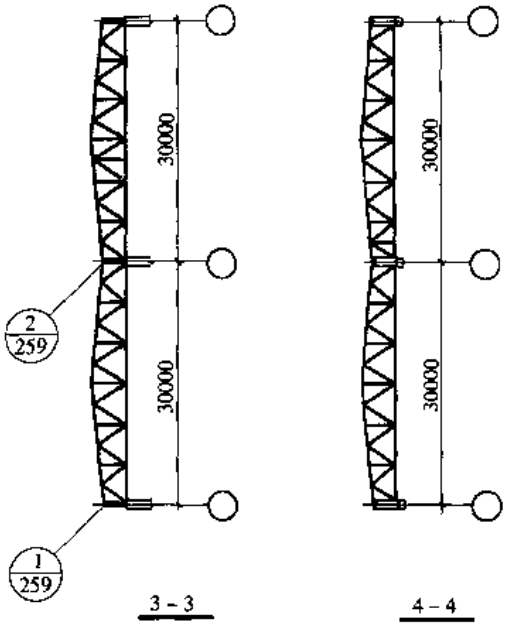


图 7-152 托架平面布置

附注：

1. 本图仅表示与托架有关的屋架下弦纵向水平支撑及垂直支撑，其它支撑见屋架相关部分。
2. 当边列柱或中列柱局部设有托架时，除在托架所在开间设置屋架纵向水平支撑外，还应在托架一端（厂房端部托架）或两端（厂房中间托架）相邻开间设置屋架纵向水平支撑和端部垂直支撑。

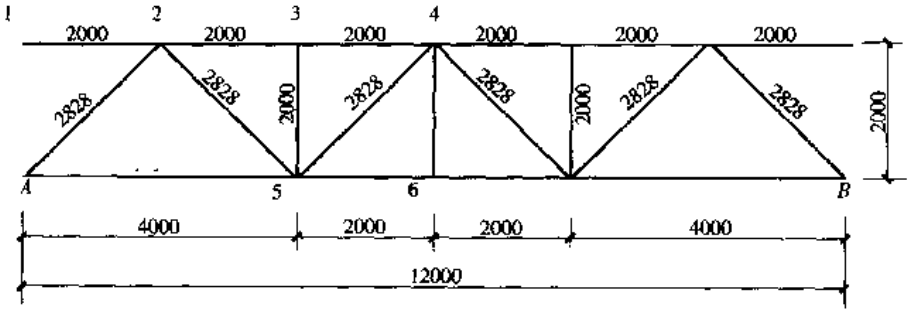


图 7-153 托架结构形式及几何尺寸简图

假定由可变荷载组合控制，则屋面荷载设计值 $Q = 1.2 \times 3.3 + 1.4 \times 0.5 = 4.66\text{kN/m}^2$；假定由永久荷载组合控制，则屋面荷载设计值 $Q = 1.35 \times 3.3 + 1.4 \times 0.5 \times 0.7 = 4.95\text{kN/m}^2 \approx 5\text{kN/m}^2$。故屋面荷载组合由永久荷载组合控制。

3）托架两侧屋架端反力设计值总和 $F_1 = 5 \times 2 \times 15 \times 6 = 900.0\text{kN}$

4）托架自重设计值 $F_2 = 25.0\text{kN}$

5）总荷载设计值 $F = F_1 + F_2 = 900.0 + 25.0 = 925.0\text{kN}$

6）托架支座反力 $R_A = R_B = \frac{F}{2} = \frac{925}{2} = 462.5\text{kN}$

（2）杆件内力计算

该桁架为静定结构，且为对称结构，对称荷载，故仅需计算左半侧半跨托架杆件内力。采用节点法计算内力。各杆件内力见图 7-154。

1）上弦杆内力

$$N_{2-3} = N_{3-4} = 462.5 \times 2 = 925.0\text{kN}$$

$$N_{1-2} = 0$$

2）下弦杆内力

$$N_{A-5} = 462.5\text{kN}$$

$$N_{5-6} = \frac{R_A \times 6}{2} = 1387.5\text{kN}$$

3）腹杆内力

$$N_{A-2} = N_{4-5} = -462.5 \times \sqrt{2} = -654.0\text{kN}$$

$$N_{2-5} = 654.0\text{kN}$$

$$N_{3-5} = 0$$

$$N_{4-6} = F = 925.0\text{kN}$$

3. 托架杆件截面选择

端斜杆 $N_{A-2} = -654\text{kN}$ 按表 7-7 中间节点板厚度为 12mm。

（1）上弦杆截面选择

节间 2－3、3－4

$$N_{2-3} = N_{3-4} = -925.0\text{kN},\ l_{0x} = 200\text{cm},\ l_{0y} = 600\text{cm}$$

选用截面┐┌180 × 110 × 12，两短肢相并。

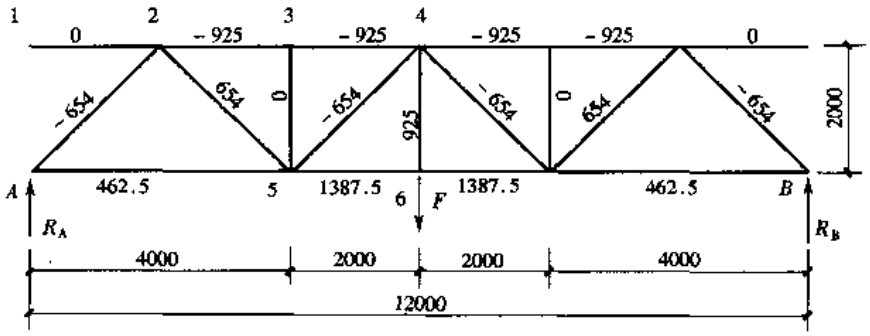


图 7-154　托架的杆件内力图

截面面积：$A = 67.42\text{cm}^2$

回转半径：　　$i_x = 3.11\text{cm}$，$i_y = 8.75\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{200.0}{3.11} = 64.3 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{600.0}{8.75} = 68.6 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

按表 3-17：

$$b_1/t = \frac{180}{12} = 15 < 0.56 l_{0y}/b_1 = 0.56 \times \frac{6000}{180} = 18.7$$

由表 3-17 中公式（3-53a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y = 68.6$$

查表 14-3 得 $\varphi_x = 0.784$，$\varphi_{yz} = 0.759$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} = \frac{925.0 \times 10^3}{0.759 \times 67.42 \times 10^2} = 180.8\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

如按表 19-10 查得 2L180×110×12 短肢相连 $l_y = 6.0\text{m}$，$[N] = 1096\text{kN} > 925\text{kN}$

（2）下弦杆截面选择

下弦杆采用相同截面，以节间 5－6 的最大轴力 N_{5-6}来选择。

$$N_{5-6} = 1387.5\text{kN} \quad l_{0x} = 400.0\text{cm} \quad l_{0y} = 600.0\text{cm}$$

选用截面┐┌140×12

截面面积：$A = A_n = 65.02\text{cm}^2$

回转半径：　　$i_x = 4.31\text{cm}$，$i_y = 6.23\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{400.0}{4.31} = 92.8 < [\lambda] = 350$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{600.0}{6.23} = 96.3 < [\lambda] = 350$$，属 b 类截面。

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma = \frac{N_{\max}}{A_n} = \frac{1387.5 \times 10^3}{65.02 \times 10^2} = 213.4\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$，满足要求。

（3）腹杆截面选择

1）节间 A-2

$$N_{A-2} = -654.0\text{kN} \qquad l_{0x} = l_{0y} = 282.0\text{cm}$$

选用截面┐┌140×90×12 两长肢相并。

截面面积：$A = 52.80\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 4.44\text{cm}$，$i_y = 3.77\text{cm}$

长细比：$\lambda_x = \dfrac{l_{0x}}{i_x} = \dfrac{282.0}{4.44} = 63.5 < [\lambda] = 150$，属 b 类截面。

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{282.0}{3.77} = 74.8 < [\lambda] = 150$$，属 b 类截面。

按表 3-17 得：

$$b_1/t = \frac{90}{12} = 7.5 < 0.48 l_{0y}/b_2 = 0.48 \times \frac{2820}{90} = 15.0$$

由表 3-17 中公式（3-52a）得：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y\left(1 + \frac{1.09 b_2^4}{l_{0y}^2 t^2}\right) = 74.8 \times \left(1 + \frac{1.09 \times 90^4}{2820^2 \times 12^2}\right) = 79.5$$

查表 14-3 得 $\varphi_x = 0.789$ $\varphi_{yz} = 0.691$

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} = \frac{654.0 \times 10^3}{0.691 \times 52.80 \times 10^2} = 179.3\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$ 满足要求。

如按表 19-11 查得 2L140×90×12 长肢相连，$l = 2820\text{mm}$，$[N] = 761\text{kN} > 654\text{kN}$

2）节间 2-5

$$N_{2-5} = 654.0\text{kN} \quad l_{0x} = 0.8l = 225.6\text{cm} \quad l_{0y} = 282.0\text{cm}$$

选用截面┐┌100×8

截面面积：$A = A_n = 31.28\text{cm}^2$

回转半径：$i_x = 3.08\text{cm}$ $i_y = 4.55\text{cm}$

长细比：

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{225.6}{3.08} = 73.2 < [\lambda] = 350$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{282.0}{4.55} = 62.0 < [\lambda] = 350$$

由表 3-16 中公式（3-41）得：

$$\sigma = \frac{N_{\max}}{A_n} = \frac{654.0 \times 10^3}{31.28 \times 10^2} = 209.1\text{N/mm}^2 < f < 215\text{N/mm}^2$$ 满足要求。

3）节间 4-5

$$N_{4-5} = -654.0\text{kN} \quad l_{0x} = 0.8l = 225.6\text{cm} \quad l_{0y} = 282.0\text{cm}$$

选用截面┐┌140×90×12 两长肢相，同节间 A-2。

4）竖杆 3-5

按公式（3-65a）$F_{b1} = N/60 = 925/60 = 15.4\text{kN}$，$l_{0x} = 0.8 \times 200 = 16\text{cm}$，$l_{0y} = 200\text{cm}$

选用┘┌63×6

截面面积：$A = 14.58\text{cm}^2$ 属 b 类截面

回转半径：$i_x = 1.93\text{cm}$ $i_y = 3.06\text{cm}$

$$i_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{160}{1.93} = 82.9 < [\lambda] = 150$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{200}{3.06} = 65.3 < [\lambda] = 350$$

查表 14-3 得　　$\varphi_{min} = 0.669$

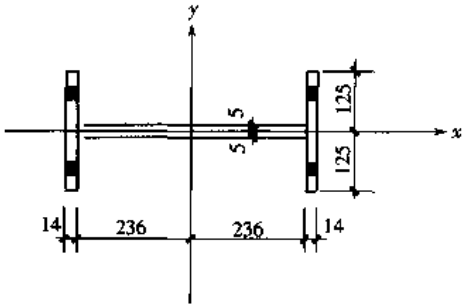


图 7-155　竖杆 4-6 截面图

由表 3-16 中公式（3-44）得：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{15.4 \times 10^3}{0.669 \times 14.58 \times 10^2} = 15.8 N/mm^2 < f = 215 N/mm^2$$，满足要求。

5）竖杆 4-6

按偏心受拉构件计算。如图 7-155。

净截面面积为：

$$A = 250 \times 14 \times 2 + (500 - 14 \times 2) \times 10 = 11720 mm^2$$

$$A_n = [250 \times 14 \times 2 + (500 - 14 \times 2) \times 10 - 14 \times 23 \times 4] = 10432 mm^2$$

净截面抵抗矩为：

$$W_{ny} = \frac{(14 \times 250 - 23 \times 14 \times 2) \times (250 - 7)^2 \times 2 + \frac{1}{12} \times 472^3 \times 10}{250} = 1.7 \times 10^6 mm^3$$

$$M_y = 9.25 \times 10^5 \times 250 = 2.31 \times 10^8 N \cdot mm$$

由表 3-19 中公式（3-67）得

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} = \frac{925.0 \times 10^3}{10432} + \frac{2.31 \times 10^8}{1.05 \times 1.7 \times 10^6} = 218.1 N/mm^2 \approx f = 215 N/mm^2$$，可以。

托架杆件截面如表 7-24 所示。

4. 托架跨中的最大挠度计算

（1）利用单位荷载法计算托架的挠度。单位力（$P = 1$）作用于托架跨中（节点 6）时的各杆内力 $\overline{N}_{Ki}$，各杆内力 $\overline{N}_{Ki}$ 如图 7-156。

（2）托架在外荷载标准值 F_k 作用下的内力值 N_{Fki} 见图 7-157。

图 7-157 中的 F_K 和 N_{Fki} 按图 7-154 中的 F 和 N_i 除以 1.31 求得。

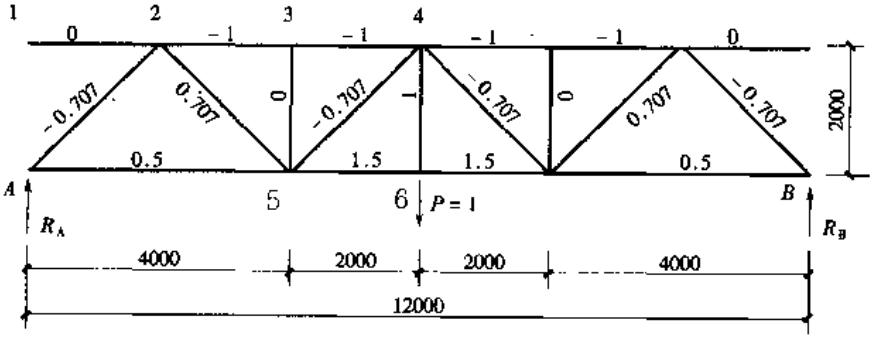


图 7-156　托架在单位力（$P = 1$）作用下的杆件内力

12m 托架杆件截面选用表

表 7-24

构件名称	杆件编号	内力 (kN)	截面规格 (mm)	截面面积 (cm^2)	计算长度 l_{ox} (cm)	计算长度 l_{oy} (cm)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	长细比 λ_x	长细比 λ_y	长细比 λ_{yz}	稳定系数 φ_{min}	强度 N/A (N/mm^2)	稳定性 $\frac{N}{\varphi_{min}A}$ (N/mm^2)	容性长细比 $[\lambda]$	强度设计值 f (N/mm^2)
上弦杆	2-3 3-4	-925.0	┐┌180×110×12	67.42	200.0	600.0	3.11	8.75	64.3	68.6	68.6	0.759		180.8	150	215
下弦杆	5-6 A-5	1387.5 462.5	⊥L140×12	65.02	400.0	600.0	4.31	6.23	92.8	96.3			213.4		350	215
腹杆	A-2	-654.0	┐┌140×90×12	52.80	282.0	282.0	4.44	3.77	63.5	74.8	79.5	0.691		179.3	150	215
	2-5	654.0	┐┌100×8	31.28	225.6	282.0	3.08	4.55	73.2	62.0			209.1		150	215
	4-5	-654.0	┐┌140×90×12	52.80	225.6	282.0	4.44	3.77	50.8	74.8	79.5	0.691		179.3	350	215
	3-5	0	┐┌63×6	14.60	160.0	200.0	1.93	3.06	82.9	65.4	68.3	0.668		15.8	150	215
	4-6	925.0	I 250×500 (t_f=14, t_w=10)	A_n=10432mm², W_{ny}=1.7×10⁶cm³, M_y=2.31×10⁸N·mm, $\sigma=\frac{N}{A}+\frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}}=\frac{925.0\times10^3}{10432}+\frac{2.31\times10^8}{1.05\times1.7\times10^6}=218N/mm^2\approx f=215N/mm^2$										

注：与中托架 Z 连接的钢柱 GZT 按轴心受压计算强度，也采用 I250×500。与边托架连接的 GZT 应按偏心受压计算强度。

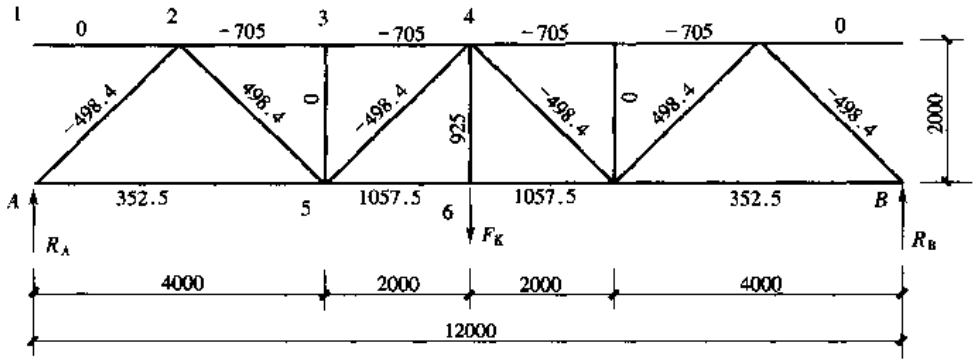


图 7-157　托架在外荷载标准值作用下的杆件内力

(3) 计算托架跨中的挠度。见表 7-25。

托架跨中的挠度计算　　表 7-25

杆件号	选用截面	截面面积 A (cm^2)	杆件长度 l_i (cm)	$\overline{N}_{Ki}$	N_{FKi} (kN)	$\frac{\overline{N}_{Ki}N_{FKi}l_i}{A_i}$ (kN/cm)
2-3	⌐⌐180×110×12	67.42	200.0	-1	-705.0	2091.4
3-4	⌐⌐180×110×12	67.42	200.0	-1	-705.0	2091.4
A-5	⌊⌊140×12	65.02	400.0	0.5	352.5	1084.3
5-6	⌊⌊140×12	65.02	200.0	1.5	1057.5	4879.3
A-2	⌐⌐140×90×12	52.80	282.0	-0.707	-498.4	1882.0
2-5	⌐⌐100×8	31.28	282.0	0.707	498.4	3176.7
4-5	⌐⌐140×90×12	52.80	282.0	-0.707	-498.4	1882.0
3-5	⌐⌐63×6	14.58	200.0	0	0	0
4-6	⌊250×500	117.20	200.0	1	705.0	1203.1

跨中最大挠度为：

$$v = \frac{1}{E}\sum\frac{\overline{N}_{Ki}N_{Fki}l_i}{A_i}$$

$$= \frac{1}{2.06\times10^5}\times[(2091.4+2091.4+1084.3+4879.3+1882.0+3176.7+1882.0)\times2+1203.1]\times10^2$$

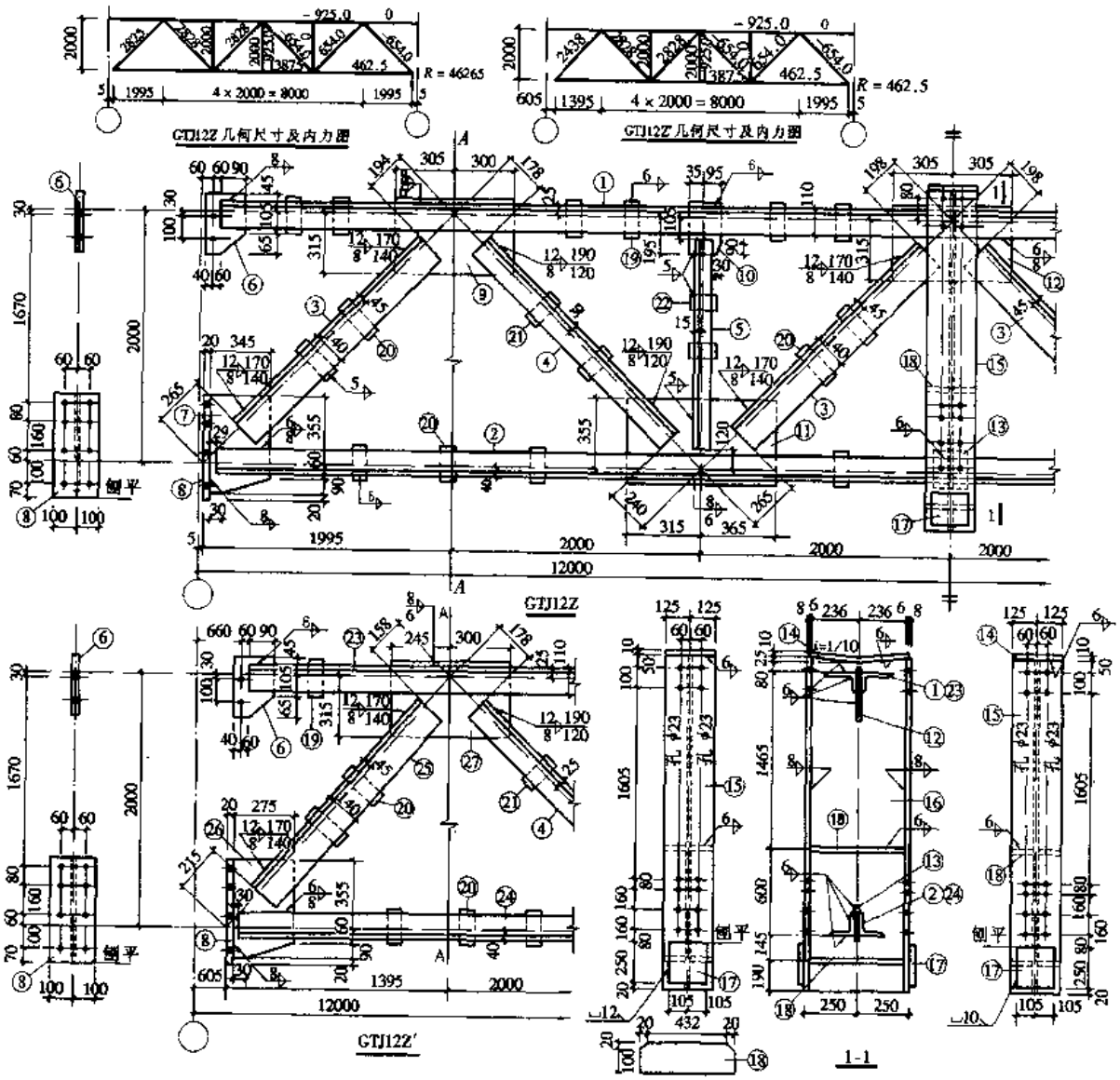
$$= 17\text{mm} < \frac{l}{400} = \frac{12000}{400} = 30\text{mm}$$，满足要求。

5. 节点设计

节点构造和计算方法与普通钢屋架相同，此处从略。

6. 施工详图

托架详图见图 7-158，钢柱头详图见图 7-159，安装节点图见图 7-164。



材料表								
杆件编号	零件号	断面	长度 (mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	重量(kg) 合计
GTJ12Z	1	L180×110×12	11760	2		311.2	622	2238
	2	L140×12	11890	2		303.4	607	
	3	L140×90×12	2365	8		49.0	499	
	4	L100×8	2410	4		29.6	118	
	5	L63×6	1775	4		10.2	41	
	6	-190×12	215	2		3.8	8	
	7	-345×14	505	2		19.1	38	
	8	-200×20	525	2		16.5	33	
	9	-360×12	605	2		20.5	41	
	10	-130×12	240	2		2.9	6	
	11	-415×12	680	2		26.6	53	
	12	-360×12	610	1		20.7	21	
	13	-180×12	180	1		3.1	3	
	14	-250×10	486	1		9.5	10	
	15	-250×14	2505	2		68.8	138	
	16	-472×10	2505	1		92.8	93	
	17	-210×30	250	2		12.4	25	
	18	-120×8	472	4		3.6	14	
	19	-60×12	130	12		0.7	8	
	20	-60×12	160	16		0.9	14	
	21	-60×12	120	4	0.7	3		
	22	-60×12	90	4		0.5	4	
GTJ12Z	4.5 6.8.10~18.20~22 与 GTJ12-7-1Z 同						584	2160
	3	L140×90×12	2365	6		49.0	248	
	7	-345×14	505	1		19.1	19	
	9	-360×12	605	1		20.5	21	
	19	-60×12	130	11		0.7	8	
	23	L180×110×12	11160	2		295.3	591	
	24	L140×12	11290	2		288.1	576	
	25	L140×90×12	2065	2		42.8	72	
	26	-275×14	505	1		15.3	15	
	27	-360×12	545	1		18.5	19	

附注：
1. 未注明长度的焊缝一律满焊。
2. 未注明的螺栓孔为 ϕ21.5。
3. 托架上下弦杆通长，其中部的钢柱头可根据施工具体条件，将其与托架上下弦交接处的腹板分割为数块，拼装后再焊接。

图 7-158　托架详图（仅适用于中间柱 Z 型，边柱 B 型，仅 1—1，⑭板不全）

构件编号	零件号	断面	长度(mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 每个	重量(kg) 共计	合计
GZT-2B	1	-250×14	2590	1		71.1	71	344
	2	-250×14	2615	1		71.8	72	
	3	-472×10	2615	1		96.8	97	
	4	-250×10	485	1		9.5	10	
	5	L90×56×6	200	2		1.3	3	
	6	60×20	472	2		4.5	9	
	7	-210×30	280	1		13.8	14	
	8	-60×16	295	4		2.2	9	
	9	150×16	295	2		5.5	11	
	10	-380×25	560	1		41.8	42	
	11	-100×20	100	4		1.6	6	
GZT-2Z		5,6,8-11与GZT-2B同					80	359
	2	-250×14	2615	2		71.8	144	
	7	-210×30	280	2		13.8	28	
	12	-472×10	2615	1		96.8	97	
	13	250×10	486	1		9.6	10	

附注：

1. 未注明长度的焊缝一律满焊。
2. 未注明的螺栓孔为 ϕ23。

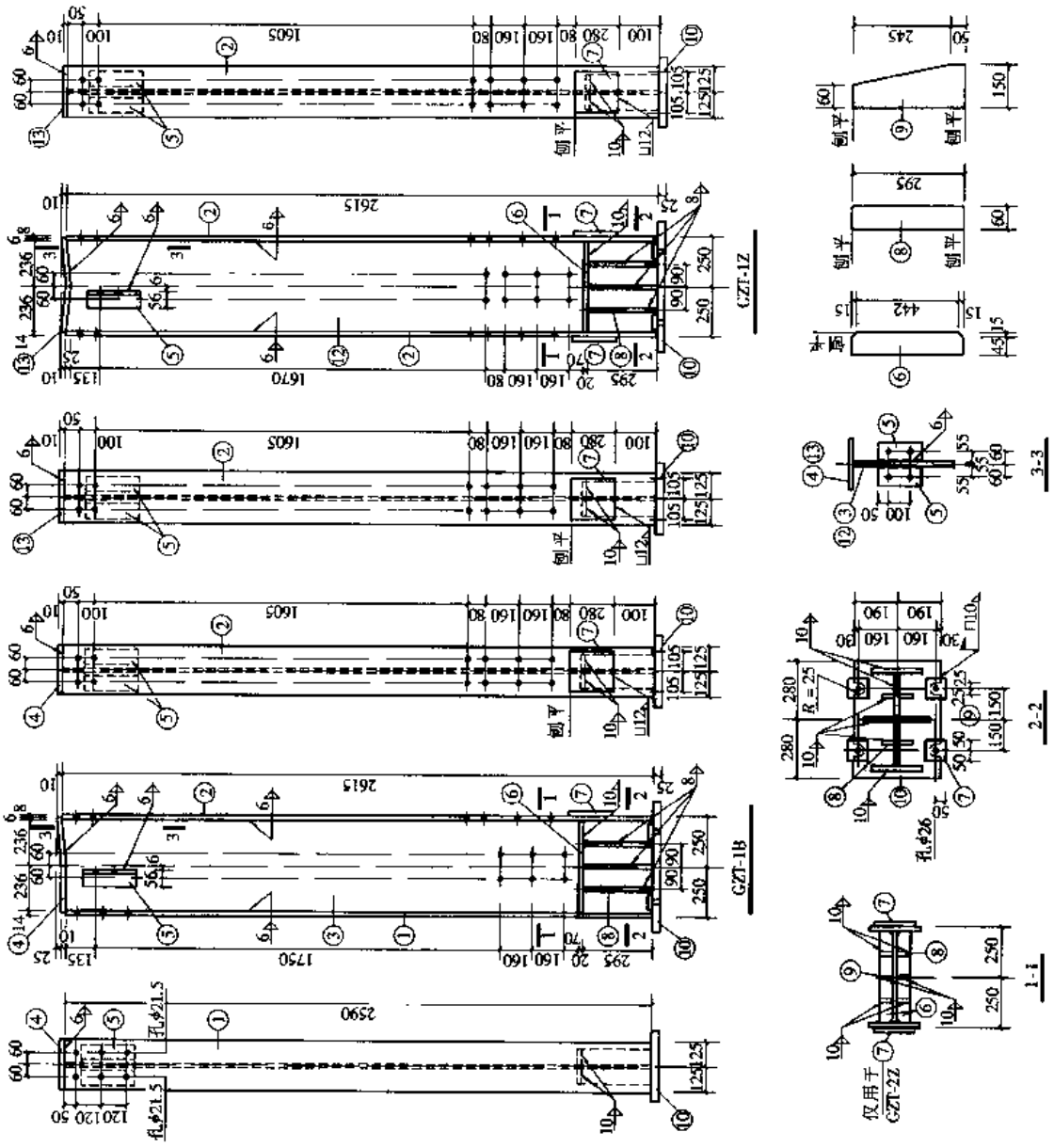
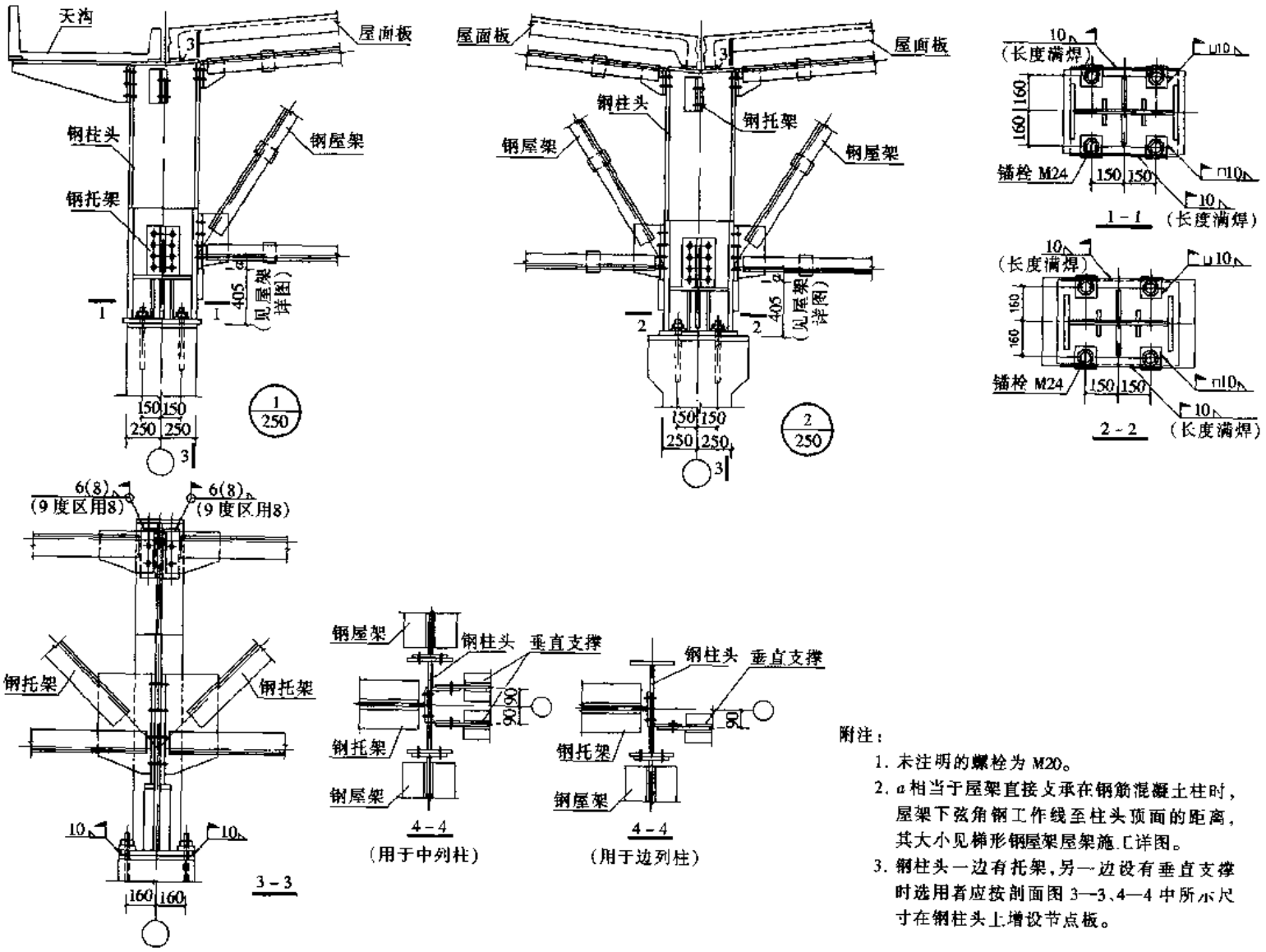


图 7-159　钢柱头详图



附注：

1. 未注明的螺栓为 M20。
2. a 相当于屋架直接支承在钢筋混凝土柱时，屋架下弦角钢工作线至柱头顶面的距离，其大小见梯形钢屋架屋架施工详图。
3. 钢柱头一边有托架，另一边设有垂直支撑时选用者应按剖面图 3—3、4—4 中所示尺寸在钢柱头上增设节点板。

图 7-160　安装节点图

7.4　天　窗　架

7.4.1　天窗架形式及应用

单层房屋中由于采光和通风要求所设置的天窗一般有：纵向上承式天窗、横向下沉式天窗、天井式天窗和平天窗等。横向下沉式天窗、天井式天窗和平天窗都是利用屋架兼作天窗，不需另设天窗架、挡风板支架和挡风板等。

本节主要叙述支承于屋架上弦的纵向天窗中矩形天窗架的设计、计算和构造。

天窗结构通常由天窗架、檩条（或大型屋面板）、侧窗横档和天窗架支撑系统组成。

矩形天窗架的常用形式主要有三铰拱式、三支点式和多竖杆式。

1. 三铰拱式（图 7-161*a*、*b*）

三铰拱式天窗架由两个三角形桁架组成，天窗架只有两点与屋架铰接，制作简单，便于运输和组装。由于顶铰的存在，安装时稳定性较差，且传给屋架的集中荷载较大，故常用于天窗架跨度较小的场合。

2. 三支点式（图 7-161*c*、*d*）

三支点式天窗架由天窗架侧柱和三角形桁架组成，其与屋架连接的节点较少，整体刚度较大，常与屋架分别吊装，施工较方便，宜用于天窗架跨度较大的情况。

3. 多竖杆式（图 7-161*e*、*f*）

多竖杆式天窗架由支于屋架节点上的竖向压杆、上弦杆和斜腹杆组成。其构造简单，受力明确，运输方便，但与屋架的连接节点较多，现场安装工作量较大，多用于天窗高度不太高而跨度较大的场合。

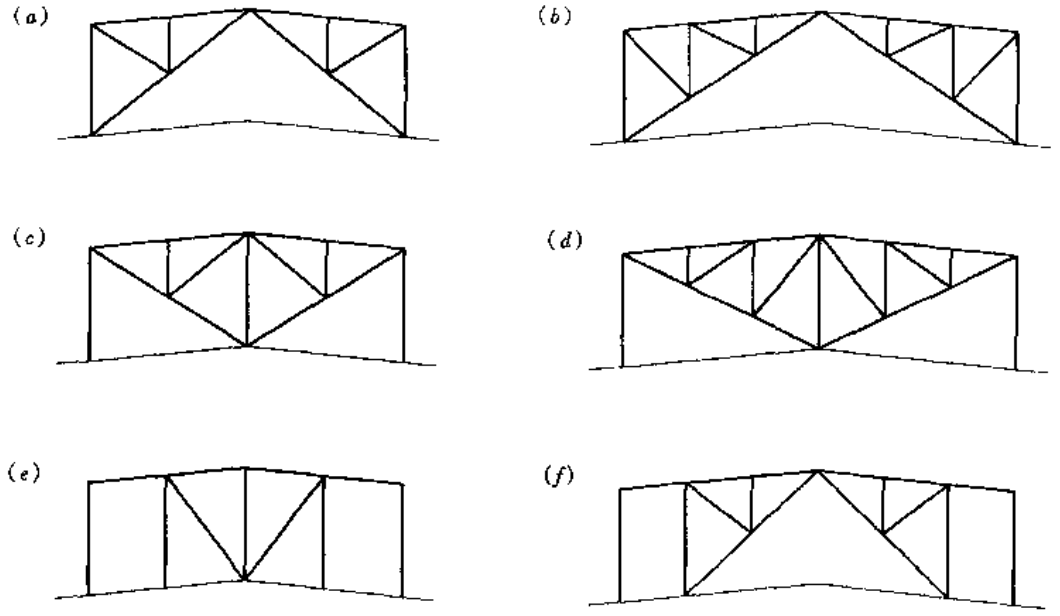


图 7-161　天窗架形式

(*a*)、(*b*) 三铰拱式；(*c*)、(*d*) 三支点式；(*e*)、(*f*) 多竖杆式

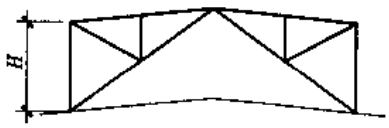
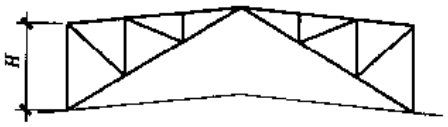
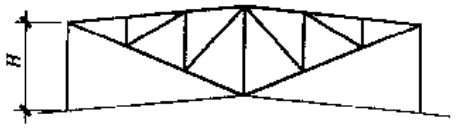
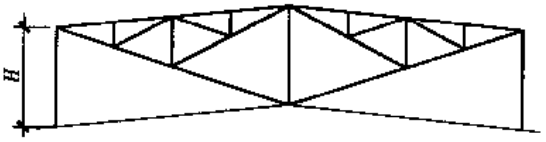
天窗架的跨度和高度应根据厂房的采光和通风要求确定。天窗架的跨度一般为屋架跨度的 1/3 ~ 1/2，高度为其跨度的 1/5 ~ 1/2。

天窗架上弦坡度与节间划分一般与屋架上弦相同。为使天窗架上弦杆不受局部弯矩，檩条或屋面板主肋应尽量位于节点上（石棉瓦类轻型屋面的檩条除外）。

所有天窗架的侧柱和中间竖杆，均支于屋架的节点上。

表 7-26 列出常用天窗架跨度、窗扇高度、天窗架形式与相配合的钢屋架跨度；表7-27列出常用天窗架的用钢指标，供设计参考。

天窗架形式及跨度 **表 7-26**

天窗架跨度（m）	窗扇数目及高度（m）	天窗架形式	配合钢屋架跨度（m）	
			轻型屋面	混凝土屋面
6	1×1.2 1×1.5 2×0.9 2×1.2		15 18 21	18 21
9	2×0.9 2×1.2		24 27 30	—
	2×0.9 2×1.2 2×1.5		—	24 27 30
12	2×1.2 2×1.5		33 36	33 36

注：1. 轻型屋面包括压型钢板、夹芯板、发泡水泥复合板等。

2. H = 窗扇总高 + 850（mm）。

天窗架用钢指标 **表 7-27**

天窗架跨度（m）	天窗架形式	屋面类型	天窗架高度 H（mm）	立柱风荷载标准值（kN/m²）	每榀重量（kg）	用钢量（kg/m²）
6.0	三铰拱	轻型屋面	2050	0.30/0.42	236/240	6.56/6.67
			2350		253/257	7.03/7.14
			2650		275/291	7.64/8.08
			3250		353/367	9.81/10.19
		混凝土屋面	2050	0.30	294	8.17
			2350	0.40/0.56	314/318	8.72/8.33
			2650	0.40	351	9.75
			3250	0.40/0.56	415/433	11.53/12.03

续表

天窗架跨度（m）	天窗架形式	屋面类型	天窗架高度 H（mm）	立柱风荷载标准值（kN/m²）	每榀重量（kg）	用钢量（kg/m²）
9.0	二铰拱	轻型屋面	2650	0.30/0.42	275/291	5.09/5.39
			3250		353/367	6.54/6.80
	三支点	混凝土屋面	2650	0.56	484	8.96
			3250	0.40/0.56	548/566	10.15/10.48
			3850	0.30	628	11.63
12.0	三支点	轻型屋面	3250	0.30/0.42	593/606	8.24/8.42
			3850		678/696	9.42/9.67
		混凝土屋面	3250	0.56	714	9.92
			3850	0.40/0.56	785/810	10.90/11.25

注：1. 表中数据摘自国家标准图《钢天窗架》97G512 和《轻型屋面钢天窗架》01SG516，其中用钢量为按 6.0m 间距计算，未包括支撑等重量。

2. 轻型屋面和钢筋混凝土屋面的均布荷载设计值分别为 2.6kN/m² 和 6.0kN/m²。

对于抗震区，天窗架的设置应符合下列要求：

（1）天窗宜采用突出屋面较小的避风型天窗，有条件或 9 度时宜采用下沉式天窗。

（2）8 度和 9 度时，天窗架宜从厂房单元端部第三柱间开始设置。

（3）天窗屋盖、端壁板和侧板宜采用轻型板材。

为了更好地组织通风和排气，避免气流倒灌，通常需要设置挡风板。挡风板有竖直（图 7-162*a*）和向外倾斜（图 7-162*b*）两种。挡风板一般采用波形石棉瓦、压型钢板等轻质材料，其下端与屋盖顶面应留至少 50mm 的间隙。

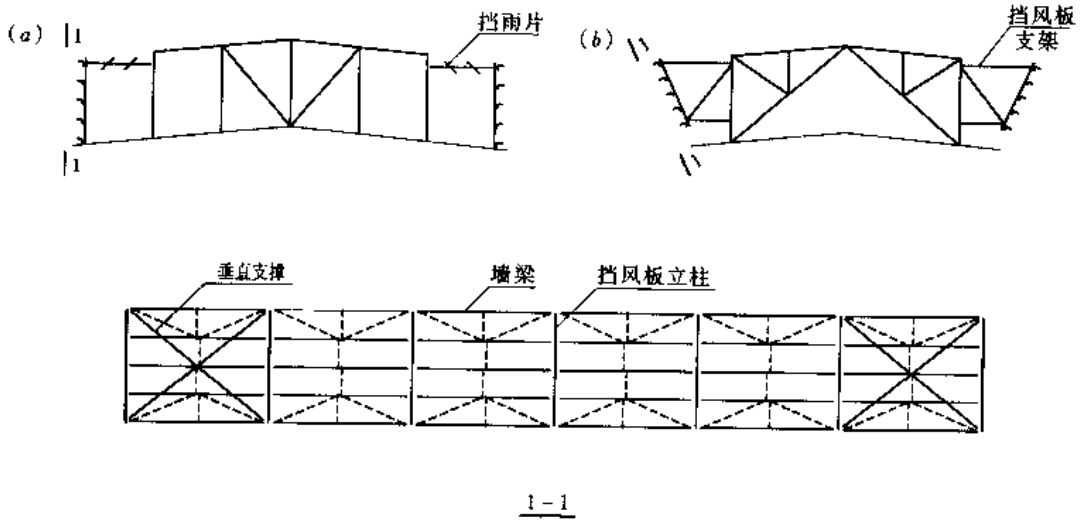


图 7-162　挡风板及其支架

挡风板支架有支承式和悬挂式两种。支承式的立柱下端支承于屋盖上，上端用横杆与天窗相连（图 7-162*a*），杆件少，用钢省；但立柱与屋盖连接处的防水处理复杂，处理不

当容易漏水。悬挂式的挡风板支架则由连接于天窗架侧柱的杆件组成（图 7-162*b*），挡风板荷载全部传给天窗架侧柱，特别是天窗侧柱因挡风架的水平集中力引起较大的弯矩，所需杆件截面较大。

天窗端部通常采用波形石棉瓦、压型钢板等作为围护结构。支承围护材料的横梁可平行于屋面位置（图 7-163*a*），也可水平放置（图 7-163*b*）。横梁一般支承于天窗架的竖杆上，对三铰拱式天窗架，屋脊处应另加竖杆（图 7-163*a*）。

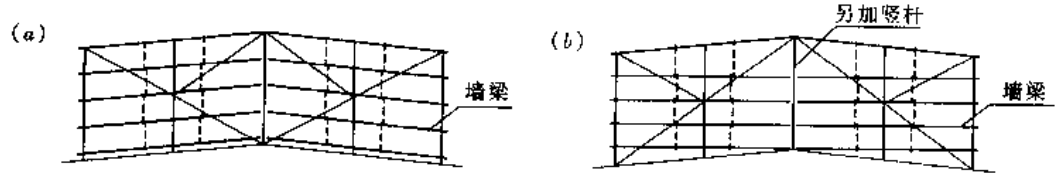


图 7-163 天窗端壁围护结构

7.4.2 天窗架计算

1. 作用在天窗架上的荷载一般有竖向荷载（永久荷载和屋面可变荷载）和风荷载。各项荷载的取值可参照 2.2 节的有关规定。

2. 计算天窗架内力时，通常假定天窗架的所有节点为铰接，将竖向荷载和风荷载化为节点集中力，并把天窗架视为静定结构来计算各杆件的轴心力。对天窗架侧柱以及受有节间荷载的天窗架上弦杆，尚应计算其弯矩。

三铰拱式天窗架为静定结构，应先求出不同荷载作用下的支座反力，然后用矩阵位移法或数解法求出各杆件的内力（图 7-164）；其中 $0.75Q$ 为考虑挑檐而增加 $0.25Q$。

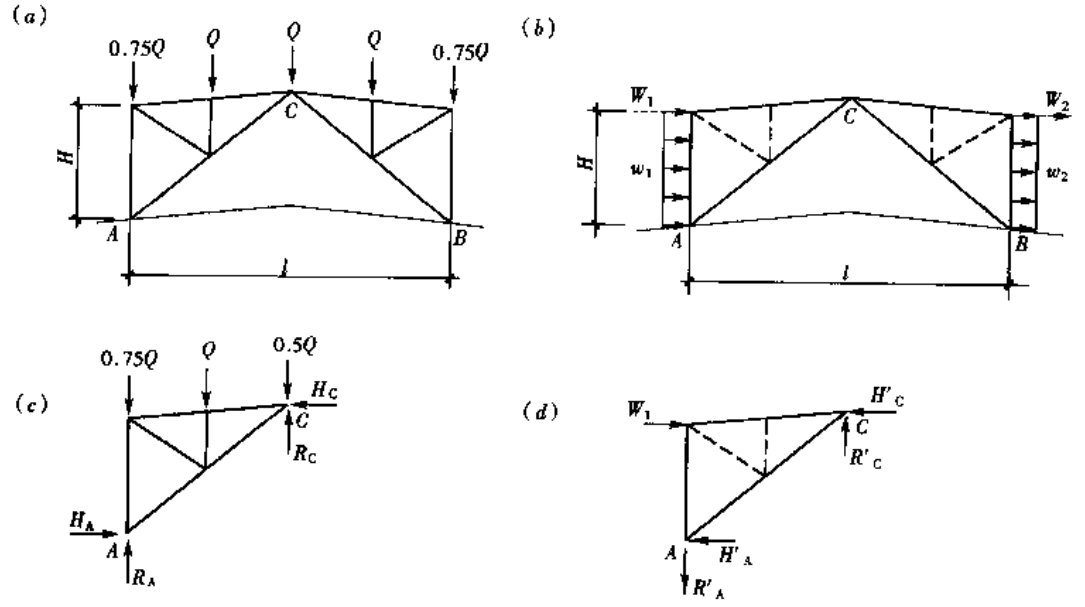


图 7-164 三铰拱式天窗架内力计算简图

(*a*)、(*c*) 为垂直荷载；(*b*)、(*d*) 为水平荷载

三支点式和多竖杆式天窗架为超静定结构，内力分析时，一般将受拉主斜杆和斜腹杆视为柔性杆件（即只能承受拉力，当有可能变压时即退出工作，内力为零），从面简化为

静定结构。图 7-165 中的虚线即为在图式荷载作用下内力为零的杆件。

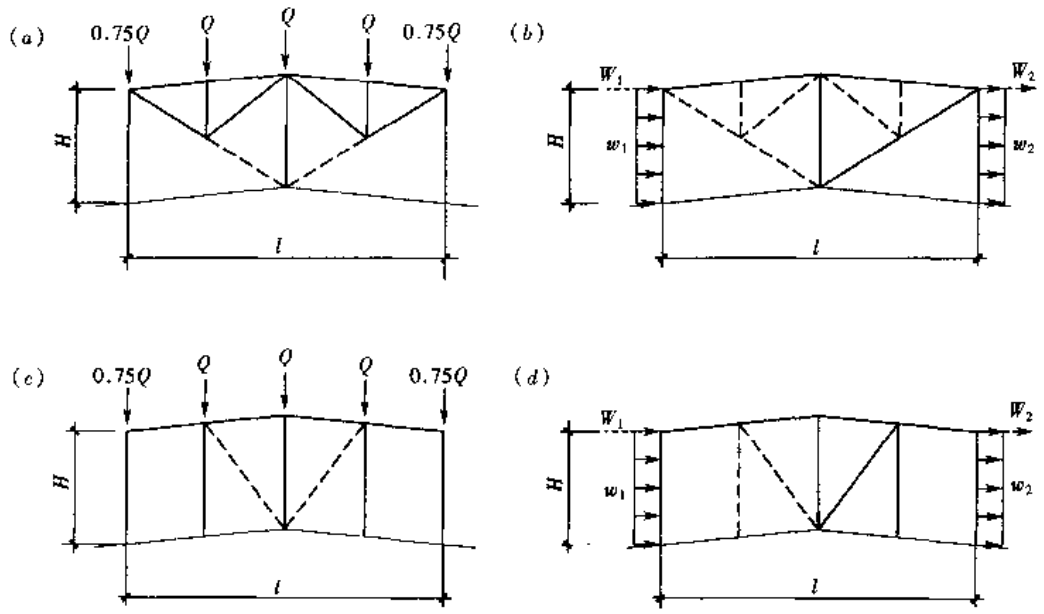


图 7-165　三支点式和多竖杆式天窗架内力计算简图

(a)、(c) 为垂直荷载；(b)、(d) 为水平荷载

3. 当天窗架上弦杆承受节间荷载时，其局部弯矩可近似取 $0.8M_0$（M_0 是按跨度等于相应节间长度的简支梁所计算的最大弯矩）。

天窗架侧柱的弯矩一般按两端简支构件计算，其中包括：均布风荷载产生的弯矩，窗扇、侧窗横挡等结构自重产生的弯矩（后两项一般可忽略）。

4. 杆件的内力组合通常考虑以下情况

(1) 可变荷载效应控制的组合

$$1.2\text{永久荷载标准值} + 1.4(\text{第一可变荷载标准}) + \sum_{i=2}^{n} 1.4\psi_{ci}(\text{其他可变荷载标准值})$$

(2) 永久荷载效应控制的组合

$$1.35\text{永久荷载标准值} + \sum_{i=2}^{n} 1.4\psi_{ci}(\text{可变荷载标准值})$$

其中 ψ_{ci} 为可变荷载的组合系数。对于轻型屋面一般按第 (1) 种组合为最不利；而对于混凝土屋面，大部分杆件为第 (2) 种组合控制。天窗架侧柱一般为第 (1) 种组合控制，其中第一可变荷载应为风荷载。

(3) 当屋面永久荷载较小，风荷载较大时，应验算在风吸力作用下，永久荷载与风荷载组合截面应力反号的情况，此时永久荷载的分项系数取 1.0。

(4) 天窗架的横向抗震计算可采用底部剪力法；跨度大于 9m 或 9 度时，天窗架的地震作用效应应乘以增大系数 1.5。

天窗架的纵向抗震计算，可采用空间结构分析法，并计及屋盖平面弹性变形和纵墙的有效刚度。

柱高不超过 15m 的单跨和等高多跨混凝土无檩屋盖房屋的天窗架纵向地震作用计算

可采用底部剪力法，但天窗架的地震作用效应应乘以增大系数 η，其值可按下列规定采用：

1）单跨、边跨屋盖或有纵向内隔墙的中跨屋盖：$\eta = 1 + 0.5n$

2）其他中跨屋盖：$\eta = 0.5n$

其中 n 为房屋跨数，超过四跨时取四跨。

7.4.3 天窗架杆件截面选择

天窗架杆件的计算长度和容许长细比应按表 2-15，表 2-16 的规定采用。

天窗架杆件可采用角钢、T 形钢或钢管（圆管或方管）截面。

当采用角钢时，天窗架的上弦一般采用等边角钢（或不等边角钢）组成的 T 形截面。天窗架侧柱和挡风板立柱常采用两个不等边角钢长肢相连的 T 形截面；当高度较小时，也可采用两个等边角钢组成的 T 形截面；而当高度较大和风荷载较大致使弯矩较大时，可采用双槽钢或一个工字钢截面。天窗架的屋脊中央竖杆，应采用两个等边角钢组成的十字形截面。天窗架的其他竖杆和斜腹杆通常采用两个等边角钢组成的 T 形截面，对受力较小的轻型天窗架腹杆可采用单角钢。

天窗架的上弦杆根据有无节间荷载而按偏心受压杆件或轴心受压杆件计算，侧柱按偏

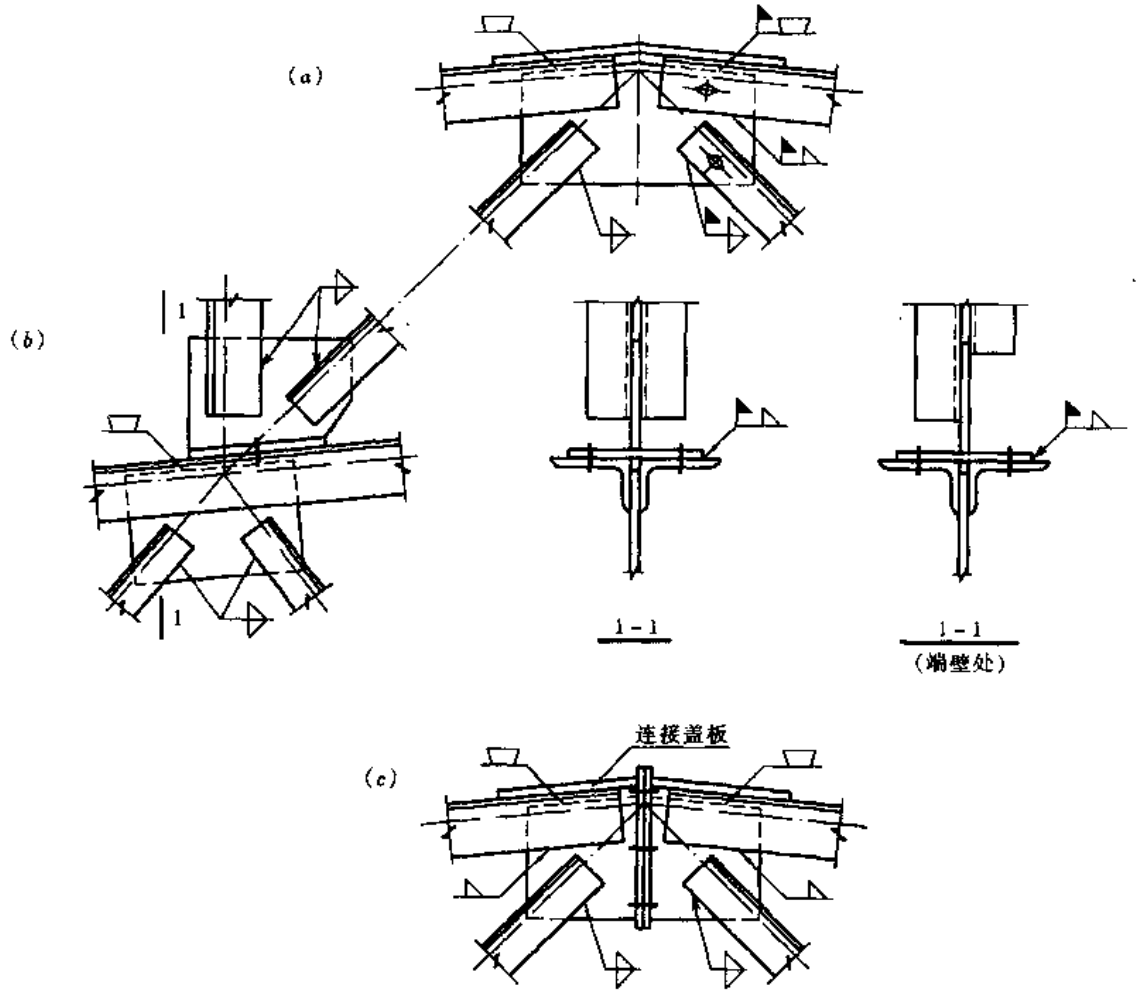


图 7-166 三铰拱式天窗架的连接节点

心受压构件计算，其他杆件均按轴心受力杆件计算。

7.4.4　天窗架节点构造

本节主要阐述支承于角钢屋架上弦节点上的天窗架及其与屋架的连接节点构造。

1. 三铰拱式天窗架通常在现场与屋架拼接成一个安装单元进行吊装。天窗架的屋脊节点可以采用平盖板加强（图 7-166a），也可采用两块竖直端板用螺栓连接（图 7-166c）。与屋架的连接节点如图 7-166（b）所示，此时可使天窗架分为两个小桁架，运输、拼装均较方便。

三支点式和多竖杆式天窗架一般与屋架分别吊装，通常用水平底板与屋架连接（图 7-167a、b）。当与屋架一起整榀吊装时，可采用如图 7-167（c）、（d）的连接形式。

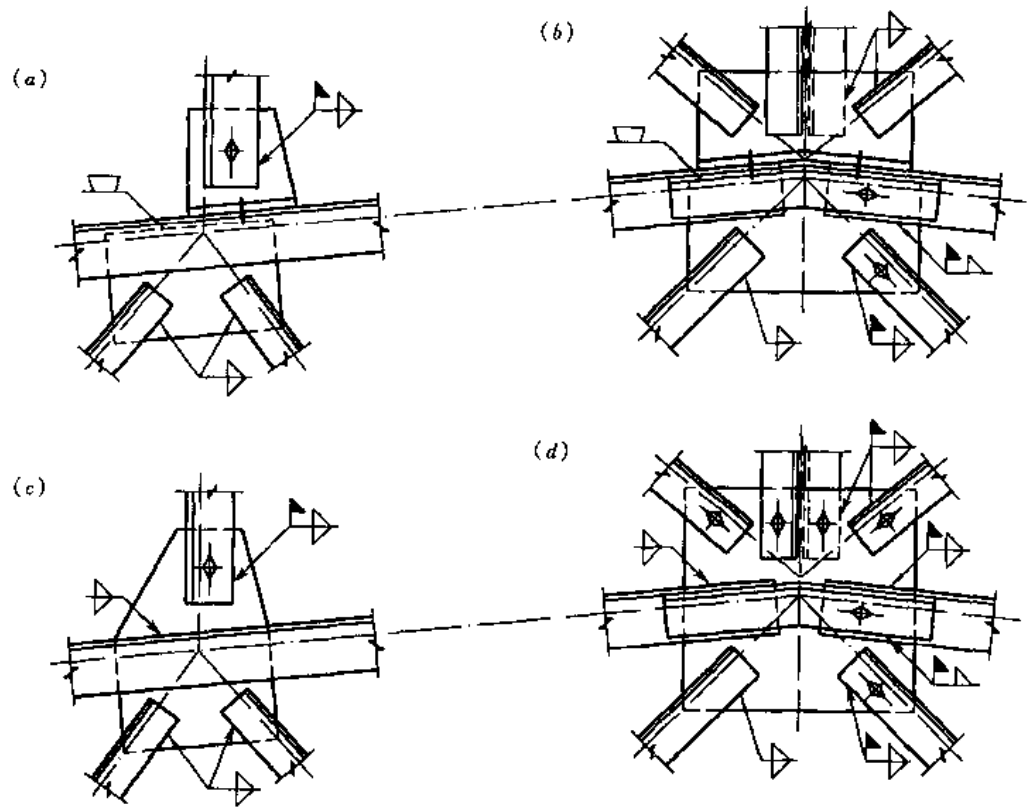


图 7-167　三支点式和多竖杆式天窗架与屋架的连接节点

2. 由于安放屋面构件的构造要求，天窗架侧柱轴线不能对准屋架节点中心，故一般使侧柱外边缘线交于屋架节点（图 7-167a）。

3. 端部天窗架的构造应考虑便于放置房屋端部开间的屋面板，与屋面板相碰的杆件外伸部分应予切除，切除后截面强度不足时应予补强（图 7-166b）。

7.4.5　天窗架设计实例

【例题 7-13】 三铰拱式天窗架（CJ—1）

1. 设计资料

天窗架跨度 $L=6$m，高度 $H=2.05$m（窗扇为 1.2m 的上悬玻璃窗，无挡风板），间距 6m，屋面材料为夹芯板，檩距 1.5m，屋面坡度 1/10（$\alpha=5.71°$）。基本风压 $w_0=0.7$kN/m^2，天窗距地面高度为 12m。钢材 Q235，焊条 E43 型。天窗架的结构形式、几何尺

寸及杆件编号见图 7-168。

2. 荷载标准值

(1) 永久荷载

屋面永久荷载

夹芯板	0.20
天窗架自重（包括支撑及檩条）	0.25
	0.45kN/m²

其他永久荷载

窗扇（包括横挡）：0.45kN/m²

(2) 可变荷载

屋面均布活荷载 0.50kN/m²，雪荷载 0.40kN/m²，计算时取两者的较大值 0.50kN/m²。

由《建筑结构荷载规范》GBJ 50009—2001，风荷载高度变化系数为 1.056（地面粗糙度取 B 类），风振系数取 1.0，体型系数见图 7-169，则作用于侧柱的风荷载标准值 $w_{k1} = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 = 1.0 \times 0.6 \times 1.056 \times 0.7 = 0.444\ \text{kN/m}^2$，垂直于屋面的风荷载标准值（吸力）$w_{k2} = 1.0 \times 0.7 \times 1.056 \times 0.7 = 0.517\text{kN/m}^2$。

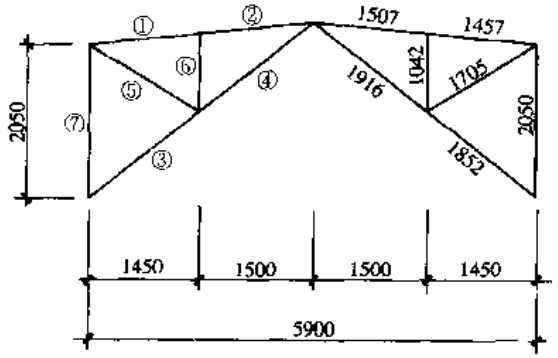


图 7-168 天窗架形式、几何尺寸和杆件编号

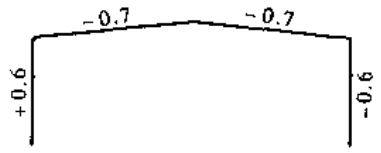


图 7-169 风荷载体型系数

3. 荷载设计值和杆件内力

天窗架的计算简图如图 7-170 所示，其中 $0.75Q$ 为考虑挑檐面增加 $0.25Q$。

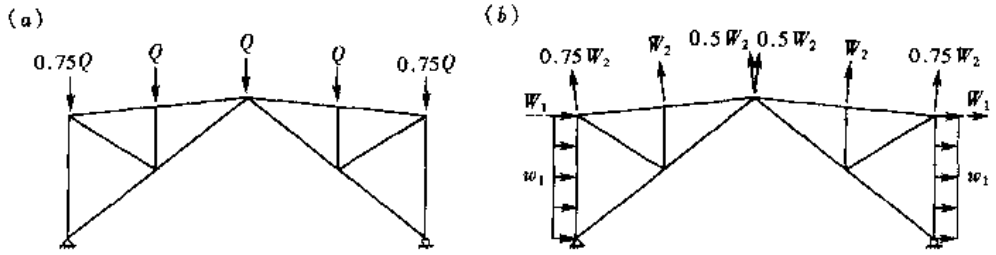


图 7-170 天窗架计算简图

(1) 永久荷载

上弦节点荷载

$$Q_G = 1.2 \times 0.45 \times 6 \times 1.5 = 4.86\text{kN}$$

此外，侧窗对天窗架侧柱产生的轴心力为

$$N' = 1.2 \times 0.45 \times 6 \times 1.2 = 3.89\text{kN}$$

(2) 屋面活荷载

上弦节点荷载

$$Q_Q = 1.4 \times 0.50 \times 6 \times 1.5 = 6.30\text{kN}$$

(3) 风荷载

作用于侧柱的均布荷载

$$w_1 = 1.4 \times 0.444 \times 6 = 3.73\text{kN/m}$$

作用于侧柱顶的水平集中荷载

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 3.73 \times 2.05 = 3.82\text{kN}$$

风荷载对侧柱产生的弯矩

$$M = \pm \frac{1}{8} \times 3.73 \times 2.05^2 = \pm 1.96\text{kN} \cdot \text{m}$$

上弦节点荷载（吸力）

$$W_2 = 1.4 \times 0.517 \times (6/\cos 5.71°) \times 1.5 = 6.55\text{kN}$$

天窗架杆件内力采用数解法计算，其组合见表7-28。

杆件内力组合表（单位：kN）　　表 7-28

杆件名称	杆件编号	屋面永久荷载		屋面活荷载	风荷载设计值				组合内力
		标准值	设计值	设计值	左风		右风		
					W_1	W_2	W_1	W_2	
上弦杆	①	-2.88	-3.46	-4.48	-3.84	5.17	3.84	5.17	-7.94
	②	-2.88	-3.46	-4.48	-3.84	5.83	3.84	5.83	-7.94
主斜杆	③	-6.45	-7.74	-10.04	4.88	10.25	-4.88	10.25	-17.78
	④	-2.79	-3.35	-4.35	4.88	4.30	-4.88	4.30	-8.05
腹杆	⑤	3.37	4.04	5.24	0.0	-5.48	0.0	-5.48	9.28 -2.11*
	⑥	-4.05	-4.86	-6.30	0.0	6.58	0.0	6.58	-11.16
侧杆	⑦	-8.34	-10.01	-7.93	-0.38	8.29	0.38	8.29	-7.65**
					±1.96kN·m				±1.96kN·m

注：1. 标 * 者为风吸力设计值与屋面永久荷载标准值组合；

2. 标 * * 者为屋面永久荷载设计值 + 风荷载设计值 + 0.7 屋面活荷载设计值；

3. 其余为屋面永久荷载设计值 + 屋面活荷载设计值（+0.6 风荷载设计值）。

4. 杆件截面选择

节点板厚度采用6mm。

(1) 上弦杆（①、②杆）

$N = -7.94\text{kN}$，$l_{0x} = 150.7\text{cm}$，$l_{0y} = 296.4\text{cm}$

选用$\neg\lfloor 56 \times 5$，$A = 10.83\text{cm}^2$，$i_x = 1.72\text{cm}$，$i_y = 2.54\text{cm}$

$\lambda_x = 150.7/1.72 = 87.6$，$\lambda_y = 296.4/2.54 = 116.7 < 150$

按公式（3-51a），$b/t = 56/5 = 11.2 < 0.58 l_{0y}/b = 0.58 \times 2964/56 = 30.7$

则绕对称轴计及扭转效应的换算长细比为

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=116.7\left(1+\frac{0.475\times56^4}{2964^2\times5^2}\right)=119.2$$

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min}=0.441$，按公式（3-44）计算的稳定为

$$\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{7.94\times10^3}{0.441\times10.83\times10^2}=16.6\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

（2）主斜杆（③、④杆）

$N_1=-17.78\text{kN}$，$N_2=-8.05\text{kN}$，$l_{0x}=191.6\text{cm}$，按公式（7.2-1）

$$l_{0y}=l_1\left(0.75+0.25\frac{N_2}{N_1}\right)=376.8\left(0.75+0.25\frac{8.05}{17.78}\right)=325.2\text{cm}$$

选用┐┌56×5，$A=10.83\text{cm}^2$，$i_x=1.72\text{cm}$，$i_y=2.54\text{cm}$

$$\lambda_x=191.6/1.72=111.4,\quad \lambda_y=325.2/2.54=128.0<150$$

按公式（3-51a），$b/t=56/5=11.2<0.58l_{0y}/b=0.58\times3252/56=33.7$

则绕对称轴计及扭转效应的换算长细比为

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=128.0\left(1+\frac{0.475\times56^4}{3252^2\times5^2}\right)=130.3$$

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min}=0.385$，按公式（3-44）计算的稳定为

$$\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{17.78\times10^3}{0.385\times10.83\times10^2}=42.6\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

（3）腹杆（⑤、⑥杆）

1）$N=-2.11\text{kN}$（9.28kN），$l_{0x}=l_{0y}=0.9\times170.5=153.5\text{cm}$

选用 L56×5，$A=5.42\text{cm}^2$，$i_{min}=1.10\text{cm}$

$$\lambda_{max}=153.5/1.10=139.5<[\lambda]=250$$

注：按受拉设计的构件在永久标准荷载值与风荷载设计值组合下受压时，其长细比不宜超过 250，见表 2-16 注 1。

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min}=0.347$，单角钢钢材强度设计值的折减系数（表 2-9）为 $0.6+0.0015\times139.5=0.809$，按公式（3-44）计算的稳定为

$$\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{2.11\times10^3}{0.347\times5.42\times10^2}=11.2\text{N/mm}^2<0.809\times215=173.9\text{N/mm}^2$$

按公式（3-41）计算的强度为

$$\sigma=\frac{N}{A_n}=\frac{9.28\times10^3}{5.42\times10^2}=17.1\text{N/mm}^2<0.85\times215=182.8\text{N/mm}^2$$

2）$N=-11.16\text{kN}$，$l_{0x}=l_{0y}=0.9\times104.2=93.8\text{cm}$

选用 L45×5，$A=4.29\text{cm}^2$，$i_{min}=0.88\text{cm}$

$$\lambda_{max}=93.8/0.88=106.6<150$$

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min}=0.513$，单角钢钢材强度设计值的折减系数为 $0.6+0.0015\times106.6=0.760$，按公式（3-44）计算的稳定为

$$\frac{N}{\varphi_{min}A}=\frac{11.6\times10^3}{0.513\times4.29\times10^2}=50.7\text{N/mm}^2<0.760\times215=163.4\text{N/mm}^2$$

（4）侧柱（⑦杆）

$N=-7.65\text{kN}$，$M=\pm 1.96\text{kN}\cdot\text{m}$，$l_{0x}=l_{0y}=205\text{cm}$

当采用双角钢截面时，背风面的侧柱最不利，此时肢尖受压最大。

选用┐┌63×5，$A=12.29\text{cm}^2$，$i_x=1.94\text{cm}$，$i_y=2.82\text{cm}$，$W_{x_{max}}=26.67\text{cm}^3$，$W_{x_{min}}=10.16\text{cm}^3$

$$\lambda_x=205/1.94=105.7<150,\quad \lambda_y=205/2.82=72.7$$

按公式（3-51a），$b/t=63/5=12.6<0.58l_{0y}/b=0.58\times 2050/63=18.9$

则绕对称轴计及扭转效应的换算长细比为

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=72.7\left(1+\frac{0.475\times 63^4}{2050^2\times 5^2}\right)=77.9$$

属b类截面，查表14-2，$\varphi_x=0.519$，$\varphi_y=0.701$，按公式（3-68）计算的弯矩平面内稳定为

$$N'_{Ex}=\frac{\pi^2EA}{1.1\lambda_x^2}=\frac{\pi^2\times 2.06\times 10^5\times 12.29\times 10^2}{1.1\times 105.7^2}=203.3\times 10^3\text{N}$$

$$\frac{N}{\varphi_xA}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_xW_{1x}\left(1-0.8\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}=\frac{7.65\times 10^3}{0.519\times 12.29\times 10^2}+\frac{1.0\times 1.96\times 10^6}{1.2\times 10.16\times 10^3\left(1-0.8\dfrac{7.65}{203.3}\right)}$$

$$=177.7\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

按公式（3-14），$\varphi_b=1-0.0005\lambda_y\sqrt{f_y/235}=0.964$，按公式（3-70）计算的弯矩平面外稳定为

$$\frac{N}{\varphi_yA}+\eta\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_bW_{1x}}=\frac{7.65\times 10^3}{0.701\times 12.29\times 10^2}+1.0\times\frac{1.0\times 1.96\times 10^6}{0.964\times 10.16\times 10^3}$$

$$=209.0\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

杆件截面尺寸见表7-29。

杆件截面选用表　　表7-29

杆件名称	杆件编号	内力N（kN）	计算长度（m）		选用截面	截面面积（cm²）	容许长细比	$\frac{N}{\varphi_{min}A}$（N/mm²）	承载力设计值（kN）
			l_{0x}	l_{0y}					
上弦杆	①	-7.94	1.457	2.964	┐┌56×5	10.83	150	-16.6	-102.7
	②	-7.94	1.507						
主斜杆	③	-17.78	1.852	3.768	┐┌56×5	10.83	150	-42.6	-89.6
	④	-8.05	1.916						
腹杆	⑤	-2.11 (9.28)	1.535		L56×5	5.42	250	-11.2 (17.1)	-32.7 (99.1)
	⑥	-11.16	0.938		L45×5	4.29	150	-50.7	-36.0
侧柱	⑦	-7.65 $M=\pm 1.96\text{kN}\cdot\text{m}$	2.05	2.05	┐┌63×5	12.29	150	—	—

5. 节点设计

天窗架屋脊节点及天窗架与屋架的连接节点构造见图7-166。节点的计算方法与钢屋架相同，在此从略。

天窗架施工详图见图7-171。

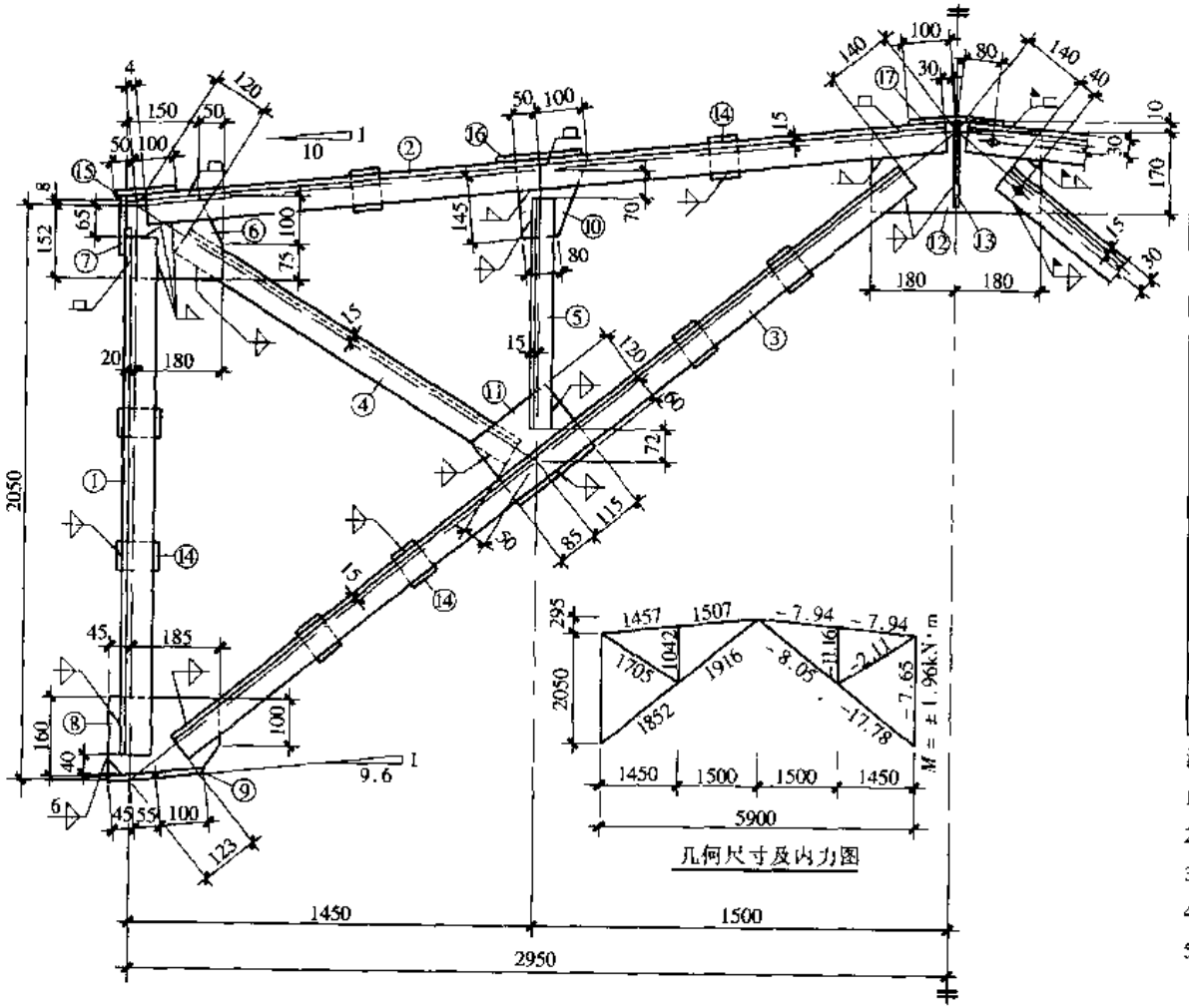


图 7-171　天窗架(CJ-1)施工详图

CJ-1 材 料 表

零件号	截面	长度 (mm)	数量	重量 (kg) 每个	合计	共计
1	L63×5	1945	4	9.4	38	200
2	L56×5	2930	4	12.5	50	
3	L56×5	3505	4	14.9	60	
4	L56×5	1535	2	6.5	13	
5	L45×5	900	2	3.0	6	
6	-175×6	200	2	1.6	3	
7	-150×6	180	2	1.3	3	
8	-160×6	210	2	1.6	3	
9	-180×8	200	2	2.2	4	
10	-150×6	155	2	1.1	2	
11	-180×6	200	2	1.7	3	
12	-180×6	360	1	3.0	3	
13	-80×6	160	2	0.6	1	
14	-60×6	90	16	0.3	5	
15	-150×6	160	2	1.1	2	
16	-160×6	160	2	1.2	2	
17	-160×6	200	1	1.5	2	

注：

1. ②、③零件中一半有孔，且有正反之分，可另编号。
2. 焊缝焊脚尺寸除注明外均为 5mm，长度不小于 70mm。
3. 螺栓 M16，孔 ϕ17。
4. 图中未示出与窗档、檩条、支撑连接的零件与孔位置。
5. ⑨零件另一方向两个孔中距由屋架上弦尺寸确定，孔边距相等，不小于 30mm。

【例题 7-14】　三支点式天窗架（CJ—2）

1. 设计资料

天窗架跨度 $L=9$m，高度 $H=3.25$m（窗扇为 2m×1.2m 的上悬玻璃窗，无挡风板），间距 6m，屋面材料为 1.5m×6.0m 预应力混凝土屋面板，卷材防水，泡沫混凝土保温，屋面坡度 1/10（$\alpha=5.71°$）。基本风压 $w_0=0.5$kN/m^2，天窗距地面高度为 15m。钢材 Q235，焊条 E43 型。天窗架的结构形式、几何尺寸及杆件编号见图 7-172。

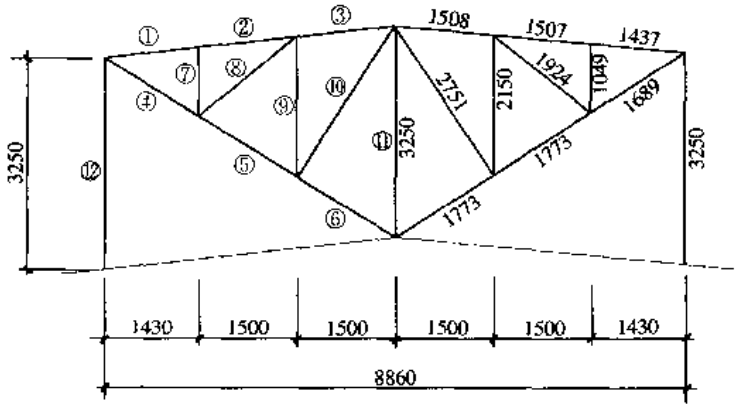


图 7-172　天窗架形式、几何尺寸和杆件编号

2. 荷载标准值

（1）永久荷载（恒荷载）

屋面永久荷载

卷材防水层	0.35
找平层（20mm 厚）	0.40
保温层（80mm 厚）	0.50
屋面板	1.40
天窗架（包括支撑）自重	0.18
	2.83kN/m^2

其他永久荷载

窗扇（包括横挡）	0.45kN/m^2
钢筋混凝土侧板（高 450mm）加保温	2.50kN/m^2

（2）可变荷载

屋面均布活荷载与雪荷载较大值为 0.50kN/m^2。

由《建筑结构荷载规范》GBJ 50009—2001，风荷载高度变化系数为 1.14（地面粗糙度取 b 类），风振系数取 1.0，体型系数见图 7-169，则侧柱的风荷载标准值 $w_k=w_{k1}=\beta_z\mu_s\mu_z w_0=1.0\times0.6\times1.14\times0.50=0.342$kN/m^2，屋面恒载较大，不考虑垂直屋面的风荷载。

3. 节点荷载和杆件内力

天窗架计算简图如图 7-165（a）、（b）所示。

（1）永久荷载

上弦节点荷载

标准值 $Q_{Gk} = 2.83 \times 6 \times 1.5 = 25.47\text{kN}$

设计值

$\gamma_G = 1.2$ 时 $Q_G = 1.2 \times 2.83 \times 6 \times 1.5 = 30.56\text{kN}$

$\gamma_G = 1.35$ 时 $Q_G = 1.35 \times 2.83 \times 6 \times 1.5 = 34.38\text{kN}$

此外，侧窗和侧板对天窗架侧柱产生的轴心力为

标准值 $N'_k = (0.45 \times 2.4 + 2.50 \times 0.45) \times 6 = 13.23\text{kN}$

设计值

$\gamma_G = 1.2$ 时 $N' = 1.2 \times (0.45 \times 2.4 + 2.50 \times 0.45) \times 6 = 15.88\text{kN}$

$\gamma_G = 1.35$ 时 $Q_G = 1.35 \times (0.45 \times 2.4 + 2.50 \times 0.45) \times 6 = 17.86\text{kN}$

(2) 屋面活荷载

上弦节点荷载设计值

$$Q_Q = 1.4 \times 0.5 \times 6 \times 1.5 = 6.30\text{kN}$$

(3) 风荷载

作用于侧柱的均布荷载设计值

$$w_1 = 1.4 \times 0.342 \times 6 = 2.87\text{kN/m}$$

作用于侧柱顶的水平集中荷载设计值

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 2.87 \times 3.25 = 4.66\text{kN}$$

风荷载对侧柱产生的弯矩

$$M = \pm \frac{1}{8} \times 2.87 \times 3.25^2 = \pm 3.79\text{kN·m}$$

天窗架杆件内力采用数解法计算，其内力组合见表 7-30。

杆件内力组合表（单位：kN） **表 7-30**

杆件名称	杆件编号	屋面永久荷载			屋面活荷载设计值	风荷载设计值		组合内力
		标准值	设计值					
			$\gamma_G = 1.2$	$\gamma_G = 1.35$		迎 风	背 风	
上弦杆	①	-35.43	-42.51	-47.83	-8.76	-4.68	-4.68	-56.77
	②	-35.43	-42.51	47.83	-8.76	-4.68	-4.68	-56.77
	③	-17.60	-21.11	-23.76	-4.35	-4.68	-4.68	-29.61
主斜杆	④	41.67	50.00	56.25	10.31	0.0	11.02	70.08
	⑤	20.71	24.85	27.95	5.12	0.0	11.02	39.45*
	⑥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.02	11.02*
腹 杆	⑦	-25.47	-30.56	-34.38	-6.30	0.0	0.0	-38.79
	⑧	22.77	27.32	30.74	5.63*	0.0	0.0	34.68
	⑨	-36.40	-43.68	-49.14	-9.00	0.0	0.0	-55.44
	⑩	32.14	38.57	43.39	7.95	0.0	0.0	48.96
	11	-75.85	-91.02	-102.40	-18.76	0.93	0.93	-115.53**
侧 柱	12	-58.08	-69.70	-78.41	-11.09	-0.47	-6.34	-83.80*
						±3.79kN·m		±3.79kN·m

注：1. 标 * 者为 1.2 屋面永久荷载标准值 + 风荷载设计值 + 0.7 屋面活荷载设计值；

2. 标 * * 者为 1.35 屋面永久荷载标准值 + 0.7 屋面活荷载设计值；

3. 其余为 1.35 屋面永久荷载标准值 + 0.7 屋面活荷载设计值 + 0.6 风荷载设计值。

4. 杆件截面选择

节点板厚度采用6mm。

侧柱（12杆）

$N=-83.80\text{kN}$，$M=\pm 3.79\text{kN}\cdot\text{m}$，$l_{0x}=l_{0y}=325\text{cm}$

当采用双角钢截面时，背风面的侧柱最不利，此时肢尖受压最大。

选用┐┌ 100×6，$A=23.86\text{cm}^2$，$i_x=3.10\text{cm}$，$i_y=4.30\text{cm}$

$$W_{x_{max}}=86.10\text{cm}^3,\quad W_{x_{min}}=31.36\text{cm}^3$$

$$\lambda_x=325/3.10=104.8<150,\quad \lambda_y=325/4.30=75.6$$

按公式（3-51a），$b/t=100/6=16.7<0.58l_{0y}/b=0.58\times 3250/100=18.9$

则绕对称轴计及扭转效应的换算长细比为

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left(1+\frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right)=75.6\left(1+\frac{0.475\times 100^4}{3250^2\times 6^2}\right)=85.0$$

属b类截面，查表14-2，$\varphi_x=0.525$，$\varphi_y=0.665$，按公式（3-68）计算的弯矩平面内稳定为

$$N'_{Ex}=\frac{\pi^2EA}{1.1\lambda_x^2}=\frac{\pi^2\times 2.06\times 10^5\times 23.86\times 10^2}{1.1\times 104.8^2}=401.53\times 10^3\text{N}$$

$$\frac{N}{\varphi_xA}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_xW_{1x}\left(1-0.8\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}=\frac{83.80\times 10^3}{0.525\times 23.86\times 10^2}+\frac{1.0\times 3.79\times 10^6}{1.2\times 31.36\times 10^3\left(1-0.8\dfrac{83.80}{401.53}\right)}$$

$$=187.8\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

按公式（3-14），$\varphi_b=1-0.0005\lambda_y\sqrt{f_y/235}=0.962$，按公式（3-70）计算的弯矩平面外稳定为

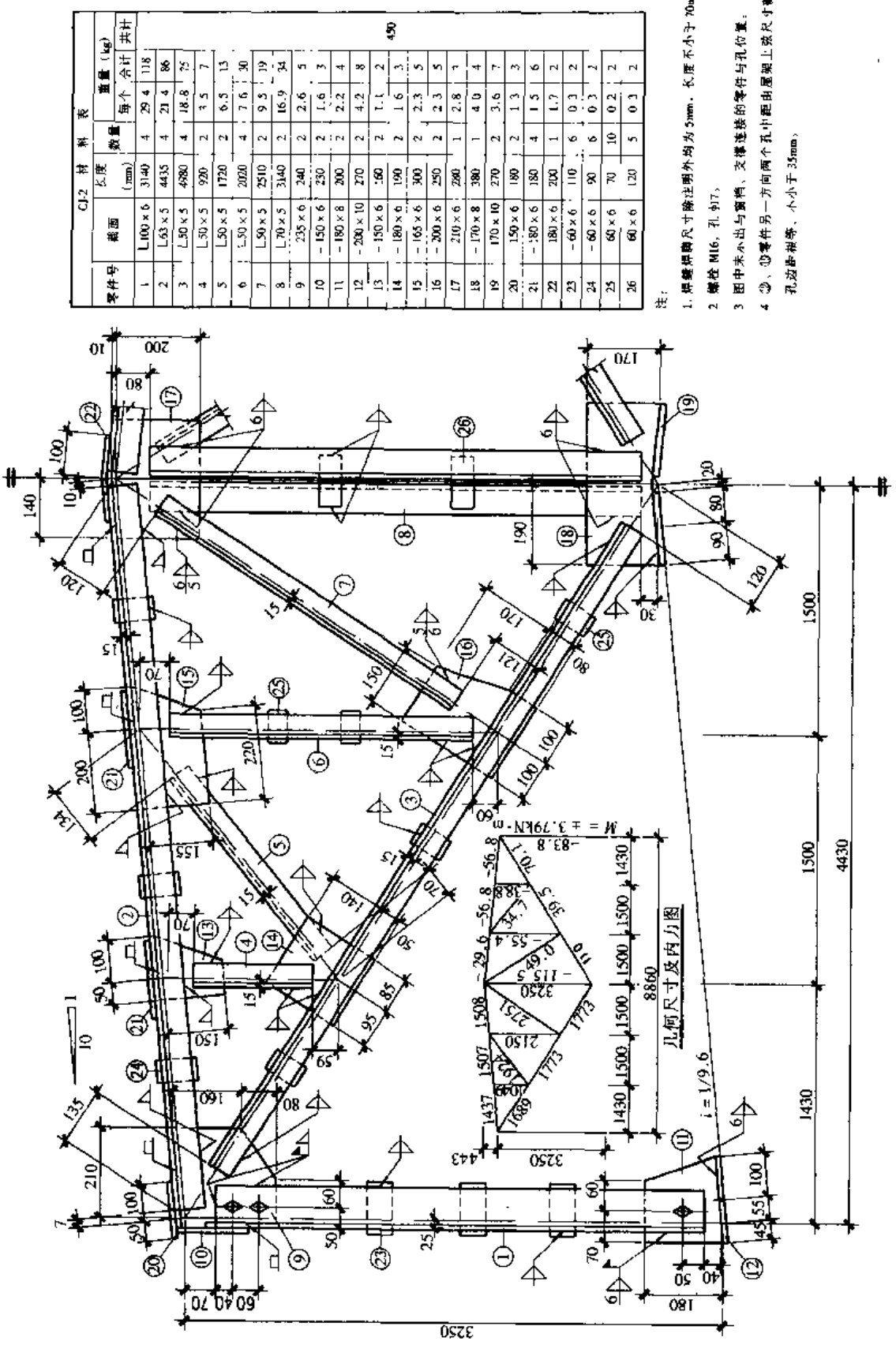
$$\frac{N}{\varphi_yA}+\eta\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_bW_{1x}}=\frac{83.80\times 10^3}{0.665\times 23.86\times 10^2}+1.0\times\frac{1.0\times 3.79\times 10^6}{0.962\times 31.36\times 10^3}$$

$$=178.4\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

其他杆件计算从略，杆件截面尺寸见表7-31。

杆件截面选用表　　表7-31

杆件名称	杆件编号	内力N（kN）	计算长度（m）		选用截面	截面面积（cm^2）	容许长细比	$\frac{N}{A_n}$（N/mm^2）	$\frac{N}{\varphi_{min}A}$（N/mm^2）	承载力设计值（kN）
			l_{0x}	l_{0y}						
上弦杆	①	-56.77	1.437	2.964	┐┌63×5	12.29	150	—	-94.3	-129.48
	②	-56.77	1.507	3.015						
	③	-29.61	1.508	3.015						
主斜杆	④	70.08	1.689	5.235	┐┌50×5	9.61	350	72.9	—	206.62
	⑤	39.45	1.773							
	⑥	11.02	1.773							
腹杆	⑦	-38.79	0.944		∟50×5	4.80	150	—	-139.6	-44.46
	⑧	34.68	1.732		∟50×5	4.80	350	72.3	-	87.72
	⑨	-55.44	1.720	2.150	┐┌50×5	9.61	150	—	-120.4	-98.97
	⑩	48.96	2.476		∟50×5	4.80	350	102.0	—	87.72
	11	-115.53	2.925		┘┌70×5	13.75	150	—	-164.8	-150.77
侧柱	12	-83.80 ±3.79kN·m	3.250	3.250	┐┌100×6	23.86	150	—	—	—



CJ-2 材料表

零件号	截面	长度 (mm)	数量	重量 (kg) 每个	合计	共计
1	L100×6	3140	4	29.4	118	
2	L63×5	4435	4	21.4	86	
3	L50×5	4980	4	18.8	75	
4	L50×5	920	2	3.5	7	
5	L50×5	1720	2	6.5	13	
6	L50×5	2020	4	7.6	30	
7	L50×5	2510	2	9.5	19	
8	L70×5	3140	2	16.9	34	
9	-235×6	240	2	2.6	5	
10	-150×6	230	2	1.6	3	
11	-180×8	200	2	2.2	4	
12	-200×10	270	2	4.2	8	
13	-150×6	160	2	1.1	2	
14	-180×6	190	2	1.6	3	
15	-165×6	300	2	2.3	5	
16	-200×6	250	2	2.3	5	
17	210×6	260	1	2.8	3	
18	-170×8	380	1	4.0	4	
19	170×10	270	2	3.6	7	
20	150×6	180	2	1.3	3	
21	-180×6	180	4	1.5	6	
22	180×6	200	1	1.7	2	
23	-60×6	110	6	0.3	2	
24	-60×6	90	6	0.3	2	
25	60×6	70	10	0.2	2	
26	60×6	120	5	0.3	2	

注：

1. 焊缝焊脚尺寸除注明外均为 5mm，长度不小于 70mm。
2. 螺栓 M16，孔 ϕ17。
3. 图中未示出与檩档、支撑连接的零件与孔位置。
4. ⑨、⑩零件另一方向两个孔中距由屋架上弦尺寸确定，孔边距相等，小于 35mm。

图 7-173 天窗架(CJ—2)施工详图

5. 节点设计

天窗架屋脊节点及天窗架与屋架的连接节点构造见图 7-167。节点的计算方法与钢屋架相同，在此从略。

天窗架施工详图见图 7-173。

7.5 网　　架

7.5.1 网架特点与适用范围

网架结构是由诸多杆件按一定规律组成的高次超静定空间结构。它改变了一般平面桁架的受力体系，能够承受来自各方向的荷载。由于杆件之间的相互支撑作用，空间刚度大、整体性好、抗震能力强，而且能够承受由于地基不均匀沉降带来的不利影响；即使在个别杆件受到损伤的情况下，也能自动调节杆件内力，保持结构的安全。

网架结构的自重轻，用钢量省。既适用于中小跨度，也适用于大跨度的房屋；同时也适用于各种平面形式的建筑，如：矩形、圆形、扇形及多边形。

网架结构取材方便，一般采用 Q235 钢或 Q345 钢，杆件截面形式有钢管和角钢两类，以钢管采用较多，并且可以用小规格的杆件截面建造大跨度的建筑。

另外，网架结构其杆件规格划一，适宜工厂化生产，为提高工程进度提供了有利的条件和保证。

网架结构有通用的计算程序，制图简单，加之其本身所具有的特点和优越性，给网架结构的发展提供了有利条件。

网架结构是一种应用范围很广的结构形式，既可用于体育馆、俱乐部、展览馆、影剧院、车站候车大厅等公共建筑，近年来也越来越多地用于仓库、飞机库、厂房等工业建筑中。

7.5.2 网架结构形式

网架按照结构体系可分为平面桁架系和角锥体系。按照支承情况可分为周边支承、四点支承、多点支承、周边支承与点支承结合以及三边支承五种情况。

1. 平面桁架系网架

平面桁架系网架是由一些平面桁架相互交叉组成。一般应设计成较长的斜腹杆受拉，较短的直腹杆受压，腹杆与弦杆间的夹角为 40°～60°。桁架的节间长度即为网络尺寸。

(1) 两向正交正放网架（图 7-174）

由两组平面桁架垂直交叉组成，弦杆平行或垂直于边界。其特点是上下弦的网格尺寸相同，各平行弦桁架长度一致。但由于上下弦杆组成方格，且平行于边界，因面基本单元为几何可变体系。为增加其空间刚度并有效传递水平荷载，应沿网架支承周边的上弦或下弦平面内设置水平支撑。当采用周边支承且平面接近正方形时，杆件受力均匀。此类网架适用于平面接近正方形中小跨度的建筑。

(2) 两向正交斜放网架（图 7-175）

当两组平面桁架垂直交叉，面桁架平面与边界为 45°斜交时，称为两向正交斜放网架。其特点是靠近四角的短桁架相对刚度较大，对与其相垂直的长桁架起弹性支承作用，从而减小了长桁架的跨中正弯矩，改善了网架的受力状态，因面比正交正放网架经济。但同时

长桁架的两端也产生了负弯矩，对四角支座产生较大的拉力，设计时应予以重视。此类网架适用于平面为正方形和矩形的建筑，当周边支承时，比正交正放网架的空间刚度大，用钢量省，跨度大时其优越性更为显著。

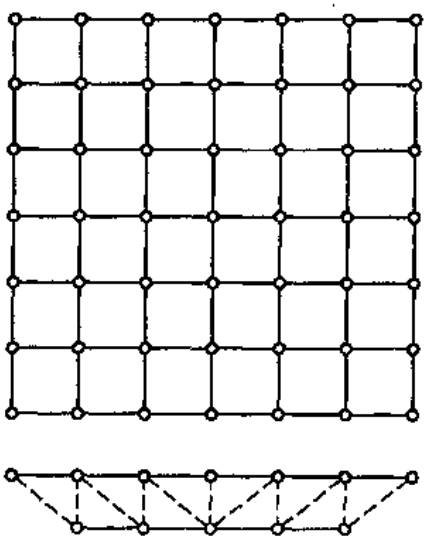


图 7-174 两向正交正放网架

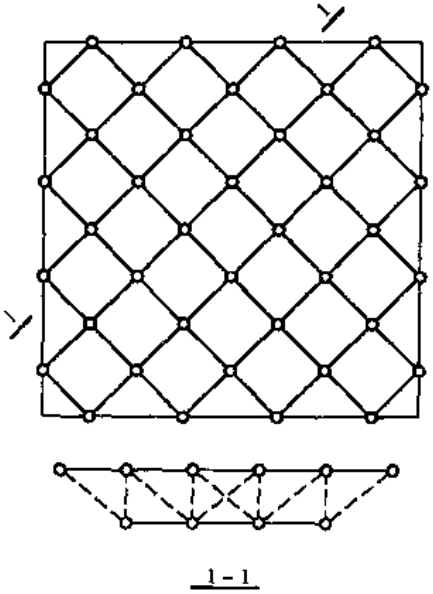


图 7-175 两向正交斜放网架

(3) 三向网架（图 7-176）

由三组互为 60°的平面桁架相互交叉组成，上下弦平面内的网格均为几何不变的正三角形。三向网架比两向网架的空间刚度大，内力分布也较均匀，各个方向能较均匀地将力传给支承结构。适用于大跨度的三边形、多边形或圆形的建筑平面。

2. 角锥体网架

(1) 四角锥体网架

网架的上、下弦平面为方形网格，下弦杆相对于上弦杆平移半格，位于上弦方格中央，用四根斜腹杆将上、下弦网格节点相连，即形成四角锥网架。

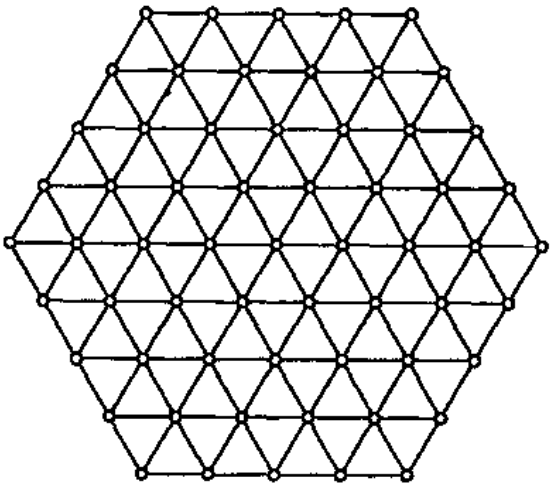


图 7-176 三向网架

1）正放四角锥网架（图 7-177）

由倒四角锥体组成，锥底的四边为网架的上弦杆，锥棱为腹杆，各锥顶相连即为下弦杆，其弦杆均与边界正交。当网架高度为弦杆长度的$\sqrt{2}/2$倍时，腹杆与腹杆，腹杆与弦杆间的夹角均为 60°，所有腹杆与弦杆的几何长度相同，杆件受力较均匀，空间刚度较好，但杆件数量较多，用钢量略高。适用于平面接近正方形的中小跨度，周边支承的情况，也适用于大柱网的点支承、有悬挂吊车的工业厂房和屋面荷载较大的建筑。

2）正放抽空四角锥网架（图 7-178）

为了降低用钢量，以及便于设置屋面通风或采光天窗，可以采用抽去部分四角锥的正放抽空四角锥网架。正放抽空四角锥网架适用于中、小跨度或屋面荷载较小的周边支承、点支承以及周边支承与点支承相结合的情况。

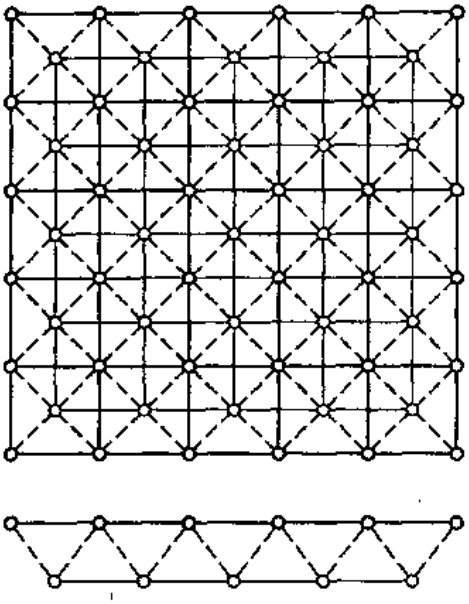


图 7-177　正放四角锥网架

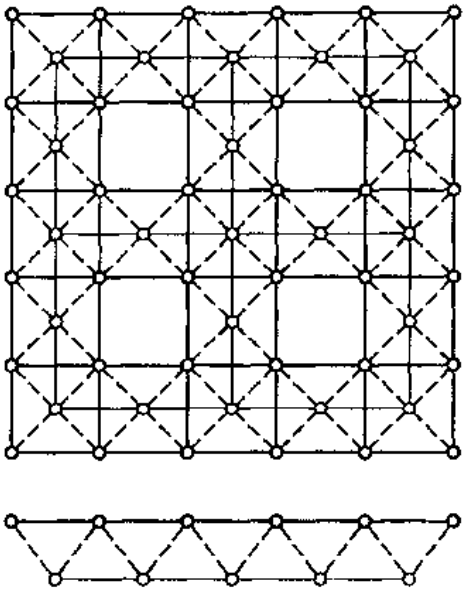


图 7-178　正放抽空四角锥网架

3）斜放四角锥网架（图 7-179）

四角锥体上弦杆与边界成 45°放置，下弦杆仍与边界正交，则为斜放四角锥网架。其特点是上弦杆短，下弦杆长，在周边支承的情况下，一般为上弦受压，下弦受拉，杆件受力合理；且节点处汇交的杆件较少，用钢量较省。适用于中小跨度周边支承，或周边支承与点支承相结合的方形和矩形平面的建筑。

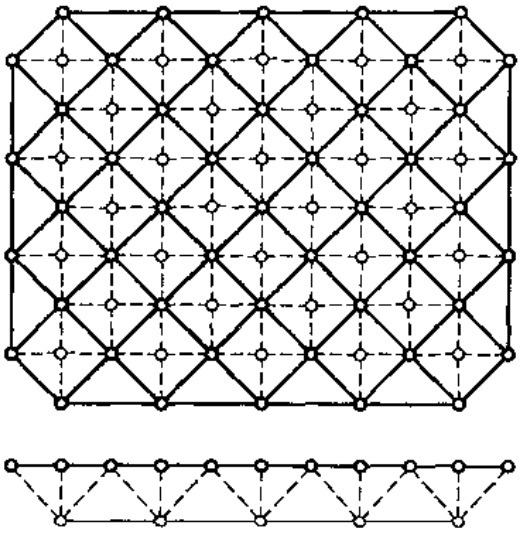


图 7-179　斜放四角锥网架

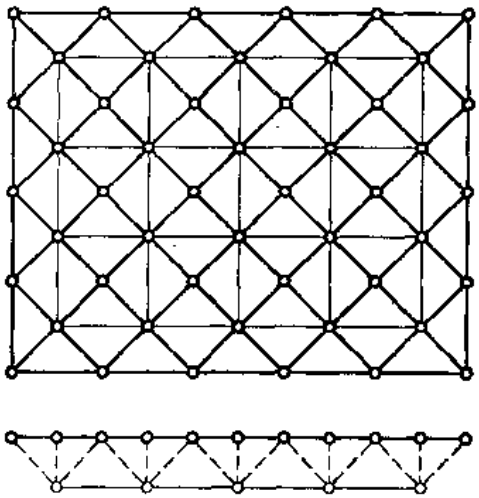


图 7-180　星形四角锥网架

4）星形四角锥网架（图 7-180）

由两个倒置的三角形小桁架相互交叉构成一个星体单元，两个桁架的底边即为网架的上弦，它们与边界 45°斜交。在两个桁架的交汇处设有竖杆，各单元顶点相连即为下弦。

其特点是上弦杆比下弦杆短，受力合理，但角部上弦杆可能受拉。网架的受力情况与平面桁架系相似，刚度比正方四角锥稍差。一般适用于中、小跨度的周边支承网架。

5）棋盘形四角锥网架（图 7-181）

在正方四角锥网架的基础上，除周边四角锥不变外，将中间四角锥间隔抽空，中部下弦杆改为正交斜放。由于周边不抽空，其空间刚度可以保证，受力较均匀；且杆件较少，用钢指标好。适用于小跨度的周边支承网架。

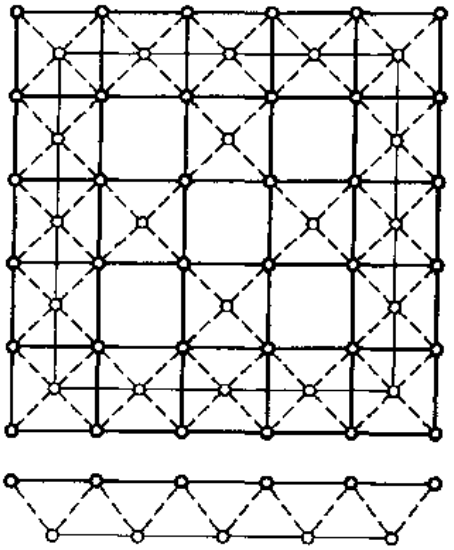


图 7-181 棋盘形四角锥网架

（2）三角锥体网架

由三角锥体组成。上、下弦杆在本身平面内都组成正三角形网格，下弦三角形的节点正对上弦三角形的重心，用三根斜腹杆把下弦每个节点和上弦三角形的三个顶点相连，即组成三角锥体。

1）三角锥网架（图 7-182）

由一系列的三角锥组成，上、下弦平面均为三角形网格，上弦或下弦三角形的顶点分别对着下弦或上弦三角形的形心。三角锥网架杆件受力均匀，抗弯和抗扭刚度均较好，但节点构造较复杂。一般适用于平面为三角形、六边形和圆形的建筑。

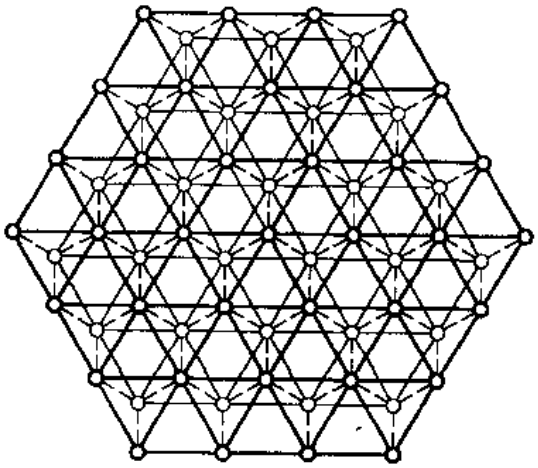


图 7-182 三角锥网架

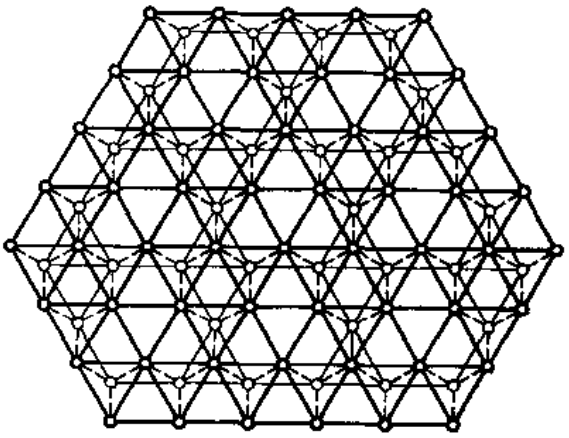


图 7-183 抽空三角锥网架

2）抽空三角锥网架（图 7-183）

在三角锥网架的基础上抽去部分锥体的腹杆，即形成抽空三角锥网架。其上弦仍为三角形网格，而下弦为三角形或六边形网格。这种网架减少了杆件数量，用钢量省，但空间刚度也受到减弱。适用于荷载较轻，跨度较小的平面为三角形、六边形和圆形的建筑。

3）蜂窝形三角锥网架（图 7-184）

蜂窝形三角锥网架的上弦平面为正三角形和正六边形网格，下弦平面为正六边形网格，下弦杆与腹杆位于同一竖向平面内。其上弦杆较短，下弦杆较长，受力合理，每个节点只汇交 6 根杆件，在常见的几种网架中，是杆件数和节点数最少的。该类网架适用于

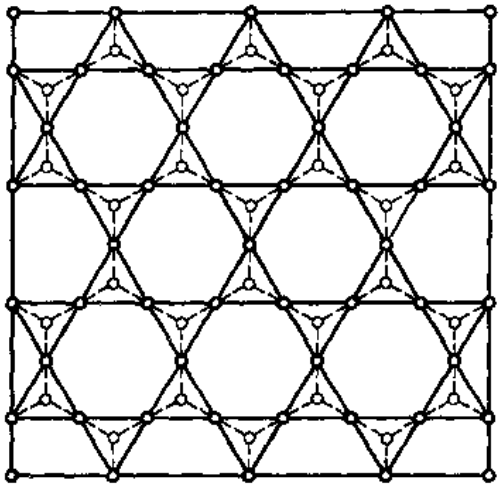


图 7-184　蜂窝形三角锥网架

中、小跨度，周边支承，平面为六边形、圆形和矩形的建筑。

7.5.3　网架结构形式选择

网架选型应根据建筑物的平面形状和尺寸、支承情况、荷载大小、屋面构造、建筑要求、制造和安装方法，以及材料供应情况等因素综合考虑。

1. 平面形状为正方形或接近正方形的周边支承网架，宜选用斜放四角锥网架、棋盘形四角锥网架、正放抽空四角锥网架、两向正交斜放网架、两向正交正放网架或正放四角锥网架。对中、小跨度，也可选用星形四角锥网架和蜂窝三角锥网架。

2. 平面形状为矩形的周边支承网架，当其边长比大于 1.5 时，宜选用两向正交正放网架、正放四角锥网架或正放抽空四角锥网架；当边长比小于 2 时，也可采用斜放四角锥网架。

3. 平面形状为矩形，采用多点支承的网架，可选用正放四角锥网架、正放抽空四角锥网架、两向正交正放网架。对周边支承与点支承相结合的网架，还可选用两向正交斜放网架和斜放四角锥网架。

4. 平面形状为矩形，三边支承一边开口的网架可按上述 1 款进行选型，其开口边可采用增加网架层数或适当增加网架高度等办法，网架开口边必须形成竖直或倾斜的边桁架。

5. 平面形状为六边形及圆形且周边支承的网架，可选用三向网架、三角锥网架或抽空三角锥网架，当跨度较小时，也可选用蜂窝形三角锥网架。

7.5.4　网架主要尺寸的确定

1. 网格尺寸

网格尺寸的大小直接影响着网架的经济性。网格尺寸应根据网架跨度、柱网尺寸、屋面材料、建筑和构造要求以及施工条件等决定。综合国内工程实践经验，一般情况下，当网架跨度 L_2（短跨）<30m 时，网格尺寸 $a=(1/6\sim1/12)L_2$；$30\text{m}\leqslant L_2\leqslant60\text{m}$ 时，$a=(1/10\sim1/16)L_2$；$L_2>60$m 时；$a=(1/12\sim1/20)L_2$。同时应符合表 7-32 中的要求。

2. 网架高度

网架的高度不仅直接影响杆件内力的大小，而且还影响腹杆的经济性。一般应使腹杆与弦杆的夹角为 35°～60°。

不同屋面体系，周边支承的各类网架，其网格数及跨高比可按表 7-32 选用。表 7-32 是按经济和刚度要求制定的。当符合表中规定时，一般可不验算网架的挠度。

网架的上弦网格数和跨高比　　表 7-32

网架形式	混凝土屋面体系		钢檩条屋面体系	
	网格数	跨高比	网格数	跨高比
两向正交正放网架、正放四角锥网架、正放抽空四角锥网架	$(2\sim4)+0.2L_2$	10～14	$(6\sim8)+0.07L_2$	$(13\sim17)-0.03L_2$
两向正交斜放网架、棋盘形四角锥网架、斜放四角锥网架、星形四角锥网架	$(6\sim8)+0.08L_2$			

注：1. L_2 为网架短向跨度，单位为 m。
2. 当跨度小于 18m 时，网格数可适当减少。

网架的允许挠度不应超过：屋盖 $L_2/250$；楼盖 $L_2/300$。

7.5.5 网架结构计算

1. 一般原则

网架是由许多杆件按一定规律组成的空间杆系结构，属于高次超静定结构，要精确分析其内力和变形十分复杂，一般均需进行一些必要的假设作简化计算。对网架结构的静力计算，通常采用以下几点假设：

1）忽略节点刚度影响，假定网架节点为空间铰接点，杆件只承受轴向力，并按弹性阶段进行计算。

2）网架结构的荷载按静力等效的原则，将节点所辖区域的荷载转化为节点集中荷载。

3）网架结构的支承条件，可根据支承结构的刚度及支座节点的构造，分别假定为两向可侧移、一向可侧移和无侧移铰接支座或弹性支承。

2. 计算方法

目前常用的计算方法有精确计算方法—空间桁架位移法和简化计算方法—交叉梁系差分法、拟夹层板法和假想弯矩法。以上三种简化计算方法其特点、适用范围和精度各不相同，而空间桁架位移法适用于各种平面形状、各种类型和各种支承条件的网架。

1）空间桁架位移法

以网架的杆件为基本单元，以节点位移为基本未知量，首先建立杆件单元的内力与位移关系，形成单元刚度矩阵；然后根据节点的变形协调条件和静力平衡条件建立节点荷载与节点位移间的关系，形成结构的总刚度矩阵和总刚度方程，引入边界条件，求解节点的位移值。求得节点位移后，既可根据杆件单元的内力与位移间的关系求出全部杆件内力。目前的网架通用计算程序一般均采用空间桁架位移法编制。

2）交叉梁系差分法

交叉梁系差分法是把交叉桁架系网架简化为交叉梁系，以交叉梁系交点处的竖向位移为未知量，一般不考虑剪切变形的影响，按交叉梁系理论建立平衡微分方程，采用差分法解出各交叉点处的挠度、弯矩和剪力，再根据弯矩和剪力确定网架所有杆件的内力。该法适用于各种平面形状、各种支承条件，跨度在 40m 以下的由平面桁架系组成的网架或正放四角锥网架。

3）拟夹层板法

拟夹层板法是把网架结构连续化为由三层不同性质材料组成的夹层板，考虑剪切变形的影响，以一个挠度和两个转角共三个广义位移为未知量，采用弹性平板弯曲理论建立基本微分方程，然后用差分法或级数法解出挠度、弯矩和剪力，再求出杆件内力。与精确法相比其误差在 5% ~ 10% 以内。此法可用于跨度 $\leqslant$ 40m，由平面桁架系组成的网架或角锥体网架。

4）假想弯矩法

假想弯矩法实质上仍是一种差分法，分析时假定两个方向空间桁架在交接处的假想弯矩（即未知弯矩）相等，根据静力平衡条件导出弯矩方程，然后将逐个节点写出以假想弯矩为未知量的多元一次联立方程。解出假想弯矩后即可求得杆件内力。与精确法相比其误差在 15% ~ 30% 以内。此法可用于斜放四角锥网架、棋盘形四角锥网架的估算。

7.5.6　网架杆件设计

1. 材料

网架结构的杆件常用材料为 Q235 钢和 Q345 钢，这两种材料的力学及焊接性能都好，材质稳定。当跨度或荷载较大时，宜采用 Q345 钢，以减轻结构自重，节约钢材。

2. 截面形式

网架结构的杆件最宜采用钢管。钢管各向同性、截面封闭、管壁薄、回转半径大，对受压、受扭均有利。另外，钢管端部封闭，内部不易锈蚀，表面也难积灰和积水，具有较好的防腐性能；适用于普遍采用的螺栓球节点和焊接空心球节点。对于中小跨度的网架也可采用角钢。

3. 杆件的计算长度和长细比

网架结构中，由于每个节点汇集的杆件较多（一般 6～12 根），而且还常有不少应力较低的受压杆件，可增强受力较大杆件的稳定性，因而杆件的计算长度要比平面桁架的有关规定放宽。网架杆件的计算长度按表 7-33 采用，其长细比限值不宜超过表 7-34。

网架杆件计算长度　　表 7-33

杆件种类	节点		
	螺栓球	焊接空心球	板节点
上下弦杆及支座腹杆	l	$0.9l$	l
腹杆	l	$0.8l$	$0.8l$

注：l 为杆件几何长度（节点中心间距离）。

网架杆件长细比　　表 7-34

杆件种类		容许长细比
受压杆件		180
受拉杆件	一般杆件	400
	支座附近处杆件	300
	直接承受动力荷载杆件	250

4. 杆件截面选择

1）网架杆件的截面应根据《钢结构设计规范》GB 50017—2003 按承载力计算确定。

2）每个网架所选截面规格不宜过多，较小跨度时以 2～3 种为宜，较大跨度时不宜超过 6～7 种。

3）对相同截面面积的杆件，宜优先采用壁薄截面，以增大其回转半径。

4）管材可采用高频电焊钢管或无缝钢管，其截面尺寸不宜小于 $\phi 40 \times 2$；角钢截面尺寸不宜小于 L45×3 或 L56×36×3。

7.5.7　网架节点设计与构造

网架结构的节点起着连接汇交杆件、传递内力的作用，同时也是网架与屋面结构、天棚吊顶、管道设备、悬挂吊车等连接之处，起着传递荷载的作用。因此，节点也是网架结构的重要组成部分，节点构造的好坏将直接影响网架的工作性能、安装质量及工程造价等。

合理的节点设计必须受力合理、传力明确简捷、工作可靠，同时还应构造简单、加工和安装方便，且节约钢材。

本书重点介绍常用的两种节点：焊接空心球节点和螺栓球节点，以及相应的支座

1. 焊接空心球节点

焊接空心球节点是将两块圆钢板经热压或冷压成两个半球后对焊而成，见图 7-185。其构造简单，受力明确，连接方便，适用于钢管杆件的各种网架。只要将圆钢管垂直于本身轴线切割，杆件与空心球自然对中而不产生节点偏心。因球体无方向性，可与任意方向的杆件连接。焊接空心球节点分加肋和不加肋两种。

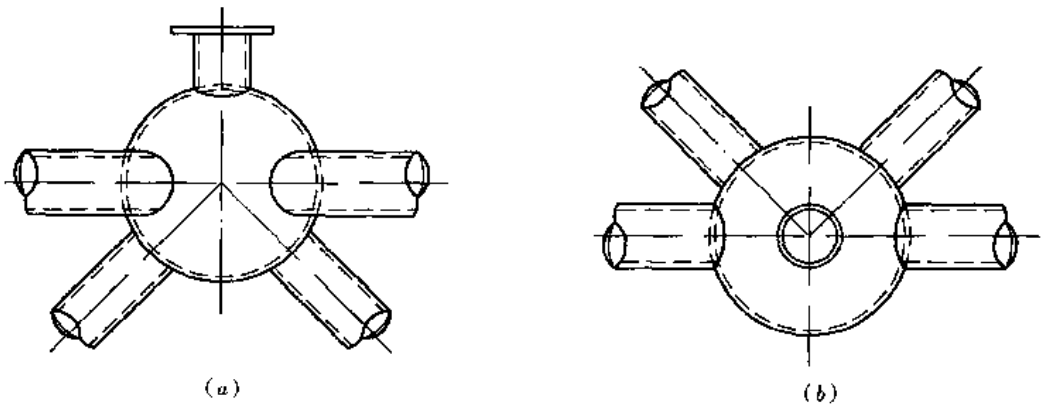


图 7-185 焊接空心球节点

(a) 上弦节点；(b) 下弦节点

球体直径一般先由构造决定，然后通过计算确定壁厚。球面上相连杆件间的间隙 a 不宜小于 10mm，见图 7-186。为了保证间隙 a，空心球直径可按下列公式估算：

$$D = \frac{d_1 + 2a + d_2}{\theta} \tag{7-97}$$

式中 θ——汇交于球节点任意两钢管杆件间的夹角（rad）；

d_1，d_2——组成 θ 角的两钢管外径。

在一个网架中，节点的种类一般不宜超过 3～5 种。

空心球壁厚一般为其外径的 1/25～1/45；空心球壁厚与相连钢管最大壁厚的比值宜为 1.2～2.0；空心球壁厚一般不小于 4mm。

当空心球外径≥300mm，且杆件内力较大需提高其承载力时，可在球内两半球对焊处增设肋板，使肋板与两半球焊成一体，见图 7-187。肋板厚度不应小于球体壁厚，肋板一般可挖空球体直径的 1/2～1/3，以减轻自重。为方便两半球的拼装，肋板可用凸台，凸台的高度不得大于 1mm。内力较大的杆件应位于肋板平面内。加肋板后球体的承载力可提高 10%～40%。

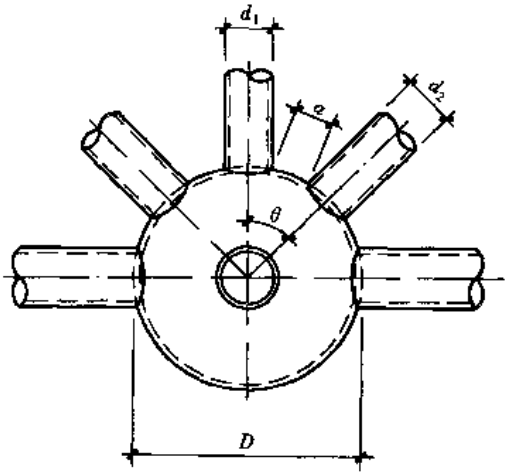


图 7-186 焊接空心球构造要求

当空心球直径为 120～500mm 时，其受压、受拉承载力设计值可分别按下列公式计算：

(1) 受压空心球

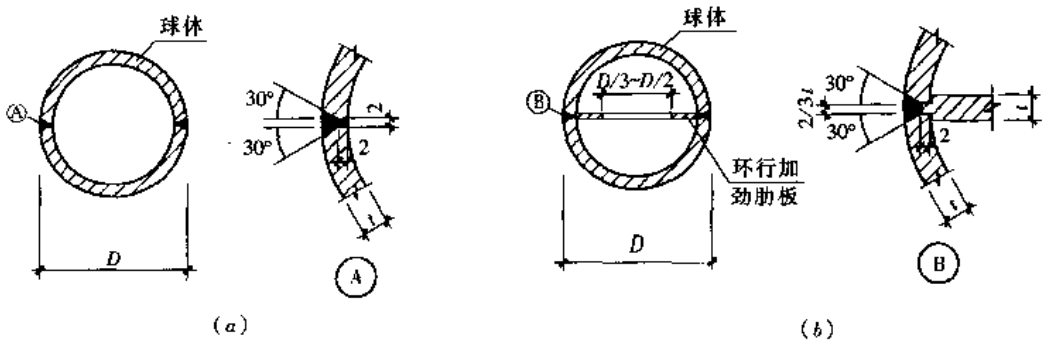


图 7-187　焊接空心球肋板的设置
（a）无肋空心球；（b）加肋空心球

$$N_c \leqslant \eta_c\left(400t \cdot d - 13.3\frac{t^2d^2}{D}\right) \tag{7-98}$$

式中　N_c——空心球的轴向压力设计值（N）；

D——空心球外径（mm）；

t——空心球壁厚（mm）；

d——钢管外径（mm）；

η_c——受压空心球加劲肋承载力提高系数，不加劲为 1.0，加劲为 1.4。

（2）受拉空心球

$$N_t \leqslant 0.55\eta_t td\pi f \tag{7-99}$$

式中　N_t——空心球的轴向拉力设计值（N）；

t——空心球壁厚（mm）；

d——钢管外径（mm）；

f——钢材强度设计值（N/mm^2）；

η_t——受拉空心球加劲肋承载力提高系数，不加劲为 1.0，加劲为 1.1。

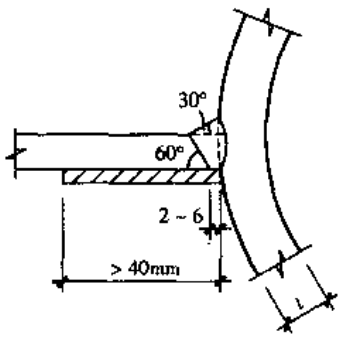


图 7-188　焊接空心球加套管焊接

钢管与空心球节点焊接时，钢管应开坡口，并在钢管与空心球之间留一定间隙以保证焊透，以实现焊缝与钢管等强，否则应按角焊缝计算。为保证焊缝质量，钢管端头可加套管与空心球焊接，见图 7-188。

对小跨度的轻屋面网架，钢管与空心球的连接可采用角焊缝，角焊缝的焊脚尺寸 h_f 应符合以下要求：

（1）当 $t \leqslant 4mm$，$h_f \leqslant 1.5t$，且不宜小于 4mm；

（2）当 $t > 4mm$，$h_f \leqslant 1.2t$，且不宜小于 6mm。

其中 t 为与空心球相连的钢管壁厚。

焊接空心球的钢材宜采用国家标准《碳素结构钢》规定的 Q235 钢或国家标准《低合金结构钢技术条件》规定的 Q345 钢。

2. 螺栓球节点

螺栓球节点由球体、高强螺栓、销于（或螺钉）、六角形套筒、锥头或封板组成。球体是锻压或铸造的实心钢球，在钢球上按照网架杆件汇交的角度钻孔并车出螺扣。为了减小球

的体积，在杆件两端各焊一个锥头，放入螺栓，它的外端套上两侧开有长槽的六角形套筒。拼装时，先将杆件端部的螺栓拧入螺栓球节点的螺纹孔中，然后在套筒长槽部位插入销子，拧转套筒时通过销子带动螺栓转动，使螺栓旋入球体，直至紧固为止，见图7-189。

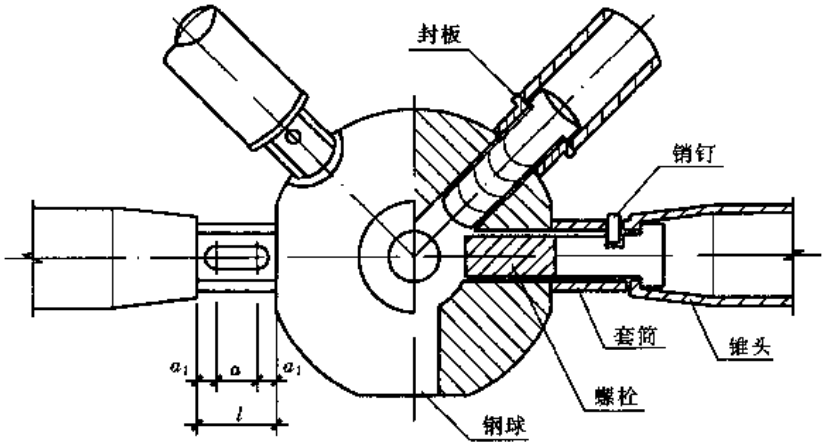


图 7-189 螺栓球节点

螺栓球节点除具有焊接空心球节点对空间汇交的钢管杆件连接适用性强和杆件连接不会产生偏心的优点外，还避免了现场焊接作业，并具有运输和安装方便的特点。螺栓球节点一般适用于中、小跨度的网架，杆件最大拉力以不超过 700kN，杆件长度以不超过 3m 为宜。

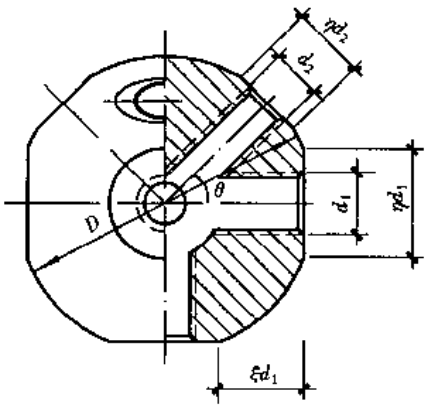


图 7-190 螺栓球节点尺寸

（1）螺栓球

螺栓球直径与螺栓的直径及螺栓伸入球体内的长度有关，同时还要保证相邻两根螺栓伸入球体内不能相碰。根据几何关系由图 7-190，螺栓球的直径 D 为：

$$D \geqslant \sqrt{\left(\frac{d_2}{\sin\theta} + d_1\mathrm{ctg}\theta + 2\xi d_1\right)^2 + \eta^2 d_1^2} \tag{7-100}$$

同时应满足套筒接触面的要求，尚应按下式核算：

$$D \geqslant \sqrt{\left(\frac{\eta d_2}{\sin\theta} + \eta d_1\mathrm{ctg}\theta\right)^2 + \eta^2 d_1^2} \tag{7-101}$$

式中 D——球体直径（mm），取两式计算的较大值；

d_1、d_2——螺栓直径（mm），$d_1 > d_2$；

θ——两个螺栓之间的最小夹角（rad）；

ξ——螺栓伸入球体的长度与螺栓直径的比值；

η——套筒外接圆直径与螺栓直径的比值。

ξ 和 η 值应分别根据螺栓承受的拉力和压力设计值确定，其值可取 $\xi = 1.1$，$\eta = 1.8$。

（2）高强度螺栓

根据国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939—1997，螺栓性能等级

和推荐材料见表 7-35；螺栓材料试件的机械性能应满足表 7-36 的规定；常用螺栓的拉力载荷试验值应符合表 7-37 的规定。

螺栓性能等级及推荐材料　　表 7-35

螺纹规格 d	性能等级	推荐材料	材料标准编号
M12 ~ M24	10.9S	20MnTiB、40Cr、35CrMo	GB3077
M27 ~ M36	10.9S	35VB、40Cr、35CrMo	GB3077
M39 ~ M64 × 4	9.8S	40Cr、35CrMo	GB3077

螺栓材料试件机械性能　　表 7-36

性能等级	抗拉强度 σ_b (N/mm^2)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	伸长率 δ_5 (%)	收缩率 ψ (%)
10.9S	1040 ~ 1240	≥940	≥10	≥42
9.8S	900 ~ 1100	≥720	≥10	≥42

螺栓拉力载荷试验值　　表 7-37

d (mm)	M12	M14	M16	M20	M22	M24
A_{eff} (mm^2)	84	115	157	245	303	353
拉力荷载 (kN)	88 ~ 105	120 ~ 143	163 ~ 195	255 ~ 304	315 ~ 376	367 ~ 438
d (mm)	M27	M30	M33	M36	M39	M42
A_{eff} (mm^2)	459	561	694	817	976	1121
拉力荷载 (kN)	477 ~ 569	583 ~ 696	722 ~ 861	850 ~ 1013	878 ~ 1074	1008 ~ 1232
d (mm)	M45	M48	M52	M56 × 4	M60 × 4	M64 × 4
A_{eff} (mm^2)	1310	1473	1758	2030	2362	2676
拉力荷载 (kN)	1179 ~ 1441	1323 ~ 1617	1584 ~ 1936	1930 ~ 2358	2237 ~ 2734	2566 ~ 3136

每个高强度螺栓的受拉承载力设计值按下列公式计算：

$$N_t^b \leqslant \psi A_{eff} f_t^b \tag{7-102}$$

式中　N_t^b—— 高强度螺栓的拉力设计值（N）；

ψ——螺栓直径对承载力影响系数，当螺栓直径小于 30mm 时，$\psi = 1.0$；当螺栓直径大于等于 30mm 时，$\psi = 0.93$；

A_{eff}——高强度螺栓的有效截面面积（mm^2），可按表 7-37 选取，当螺栓上钻有销孔或键槽时，应取螺纹处或销孔键槽处二者中的较小值；

f_t^b——高强度螺栓经热处理后的抗拉强度设计值；对 40Cr、40B 钢与 20MnTiB 钢，取 $430N/mm^2$，对 45 号钢，取 $365N/mm^2$。

（3）套筒

套筒的作用是拧紧高强度螺栓和承受钢管杆件传来的压力，因此套筒的壁厚应根据被连接杆件的轴心压力按计算确定，并应验算开槽处和端部有效截面的承载力。

套管的外形尺寸应符合扳手开口尺寸系列，端部要保持平整，内孔径一般比螺栓直径大 1mm。套筒端部到开槽端部距离应使该处有效截面抗剪力不低于销子（或螺钉）抗剪力，且不应小于 1.5 倍的开槽宽度。

套筒长度（mm）可按下式计算（见图 7-189）：

$$l = a + 2a_1 \tag{7-103}$$

$$a = \xi \cdot d_0 - a_2 + d_s + 4\text{mm} \tag{7-104}$$

式中 d_s——销子直径（mm）；

a_1——套筒端部到滑槽端部的距离（mm）；

ξd_0——螺栓伸入球体的长度（mm）；

a_2——螺栓露出套筒的长度，可预留 4～5mm，但不少于 2 个丝扣。

（4）封板、锥头

杆件可采用封板或锥头连接（图 7-191），其连接焊缝以及锥头的任何截面应与连接的钢管等强；连接焊缝应采用完全焊透的坡口对接焊缝，焊缝宽度 b 可根据连接钢管壁厚取 2～5mm。

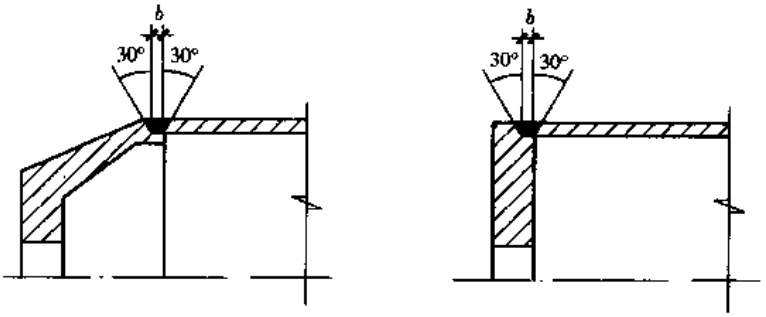


图 7-191 杆件端部连接焊缝

（a）锥头与钢管连接；（b）封板与钢管连接

为避免汇交于节点的杆件相互干扰并使其传力顺畅，当管径≥76mm 时，一般宜采用锥头的连接形式；当管径＜76mm 时，可采用封板。封板和锥头底板的厚度 t_p 可根据实际受力大小按塑性理论按下式计算：

$$t_p = \sqrt{\frac{2N(r-s)}{\pi r f}} \tag{7-105}$$

式中 N——钢管所受拉力设计值（N）；

r——封板或锥头底板的半径（mm）；

s——自封板或锥头底板中心到螺母外边缘的距离（mm）；

f——钢材的强度设计值（N/mm^2）。

同时当钢管壁厚小于 4mm 时，封板厚度不宜小于钢管外径的 1/5。锥头的底板厚度不宜小于钢管外径的 1/6。

（5）销子或螺钉

销子一般采用高强冷拔钢丝制造，其直径一般可取高强度螺栓直径的 0.16～0.18 倍，且不宜小于 3mm，也不宜大于 8mm。

紧面螺钉一般采用高强度钢材制造，其直径一般可取高强度螺栓直径的 0.2～0.3 倍，且不宜小于 4mm，也不宜大于 10mm。

3. 支座节点

网架支座一般支承于柱、圈梁或砖墙上，通常为不动铰支座或可动铰支座。网架的支座节点应根据网架的类型、跨度、作用荷载以及加工制造和施工安装方法等，采用传力可靠、连接简单的构造形式，并使其尽量符合计算假定，以避免网架的实际内力和变形与计算值存在较大差异而影响结构的安全。

根据受力状态，网架支座节点一般分为压力支座节点和拉力支座节点两类。

(1) 平板压力支座（图 7-192）

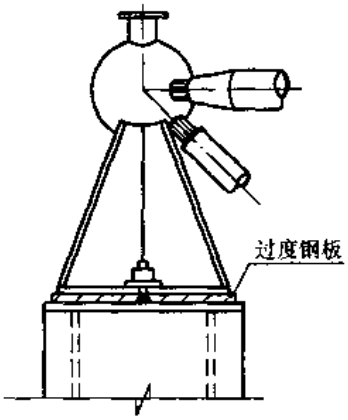


图 7-192　平板压力支座

这种节点，构造简单，加工方便，用钢量省，但支座底板下的压应力分布不均匀，支座不能完全转动，与计算假定有差异。适用于支座无明显不均匀沉陷，温度应力影响不大的较小跨度的轻型网架。

(2) 单面弧形压力支座（图 7-193）

在平板压力支座基础上加以改进，即在支座底板下放置弧形板，便形成单面弧形压力支座。由于支座弧形板与其上部的底板为线接触，能使支座有微量转动和微量线位移，改善了较大跨度网架由于挠度和温度应力影响支座的受力性能。为了保证支座转动，应将锚栓布置在弧形支座的中心线位置，如图 7-193（a）。当支座反力较大而需设置四个锚栓时，为了便于支座转动，应在锚栓的螺母下设置弹簧，如图 7-193（b）。弧形支座节点与计算假定比较接近。适用于中小跨度网架。

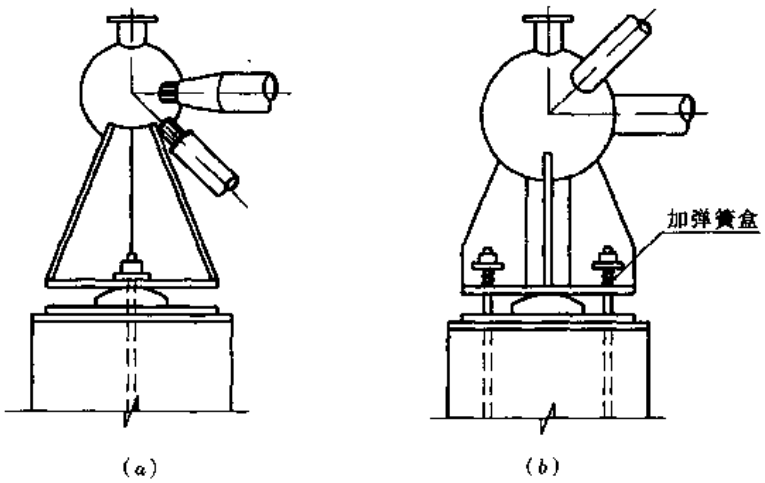


图 7-193　单面弧形压力支座

(a) 两个锚栓连接；(b) 四个锚栓连接

(3) 双面弧形压力支座（图 7-194）

双面弧形压力支座是在网架支座上部支承板和下部支承底板间，设置一个上下均为圆弧曲面的特制钢铸件，在钢铸件两侧分别从支座上部支承板和下部支承底板焊接带有椭圆孔的梯形连接板，并采用螺栓将三者联结成整体。当网架端部受到挠度和温度应力影响时，支座可沿上下两个圆弧曲面作一定的转动和移动。适用于大跨度、支承约束较强、温度应力影响较显著的大型网架。

(4) 球铰压力支座（图 7-195）

在大跨度四点支承或多点支承的网架中，为适应支座能在两个方向作微量转动而不产生弯矩，可采用球铰压力支座。其构造特点是：支座下部突出的凸形实心半球嵌合在上部的臼式半凹球内，为防止因地震作用或其他外力影响使凹球与凸球脱出，四周用锚栓连接固定，并在螺母下设置压力弹簧，以保证支座自由转动。

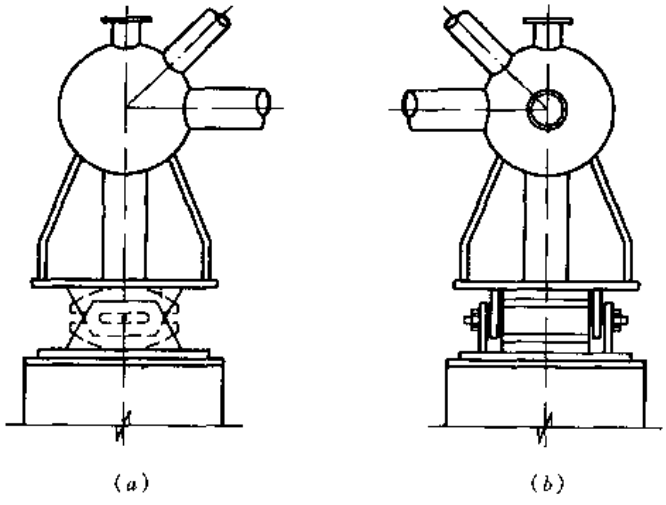


图 7-194 双面弧形压力支座
(a) 侧视图；(b) 平视图

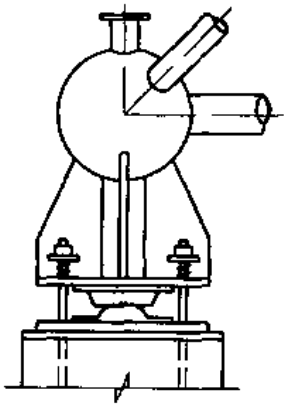


图 7-195 球铰压力支座

(5) 板式橡胶支座（图 7-196）

板式橡胶支座是在支座板与结构支承面间加设一块由多层橡胶片和薄钢板粘合、压制成型的矩形橡胶垫板，并以锚栓联成一体。它除了能将上部结构的垂直压力传给支承结构外，还能适应网架结构所产生的水平位移和转角。具有构造简单、安装方便、造价低廉等优点；适用于大中跨度的网架。

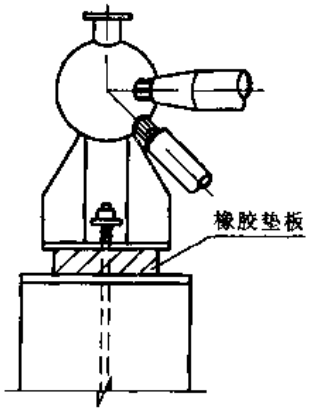


图 7-196 板式橡胶支座

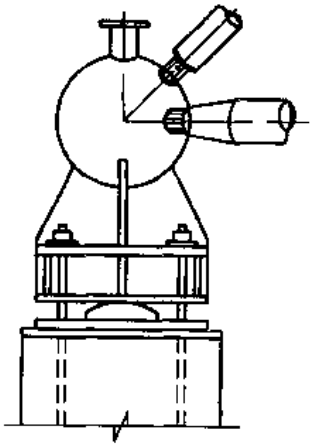


图 7-197 单面弧形拉力支座

(6) 平板拉力支座

当支座垂直拉力较小时，可采用与平板压力支座相同的构造，但此时锚栓承受拉力。

当垂直拉力较大时，一般宜设置锚栓支承托座。

（7）单面弧形拉力支座（图 7-197）

单面弧形拉力支座的构造特点与单面弧形压力支座相类似，为了增强支座节点刚度，应设置锚栓支承托座，并利用锚栓来承受支座拉力。

4. 屋顶节点

网架结构的屋顶节点，一般均采用加钢管小立柱的方法。在钢管上端焊一块托板，钢管下端焊在球节点上，屋面板或檩条安装在托板上，见图 7-198。利用小立柱的长度差异形成所需的屋面坡度。

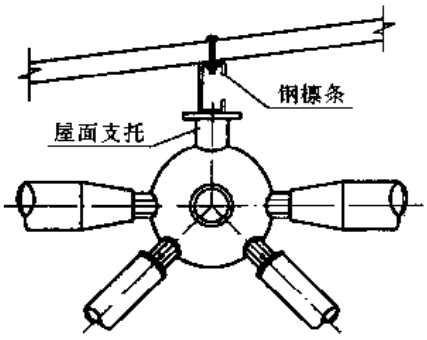


图 7-198　屋顶钢管小立柱节点

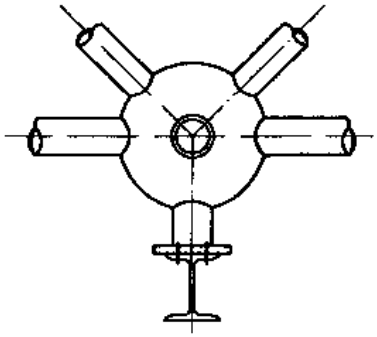


图 7-199　悬挂吊车节点

5. 悬挂吊车节点

对于设有悬挂吊车的工业房屋，吊车轨道与网架下弦节点的连接见图 7-199。

7.5.8　网架设计实例

【例题 7-15】 正放四角锥网架

1. 设计资料

网架平面尺寸 27m × 30m，周边支承。屋面材料为 3.0m × 3.0m 发泡水泥复合板 WB330-1，两面坡排水，屋面坡度 4%，采用钢管支托找坡。杆件采用高频电焊钢管，节点为焊接空心球节点，钢材 Q235，焊条 E43 型。

2. 几何尺寸

网格尺寸 $a = 3\text{m} \times 3\text{m}$；网架高度 $h = 2.121\text{m}$，跨高比 $L_2/h = 12.73$。上、下弦杆及腹杆的几何长度 l 均为 3m，腹杆与上、下弦杆的夹角均为 60°。

网架平面布置见图 7-200。

3. 荷载

（1）永久荷载标准值

屋面板自重（包括板缝）0.6kN/m^2，防水层 0.10kN/m^2，网架自重 0.18kN/m^2，悬挂设备 0.1kN/m^2；结构分析时，悬挂设备荷载均考虑作用在下弦节点。

（2）可变荷载标准值

屋面均布活荷载与雪荷载的较大值为 0.5kN/m^2。

（3）荷载组合

采用可变荷载效应控制的组合，即：1.2 永久荷载标准值 + 1.4 可变荷载标准值

（4）节点荷载设计值

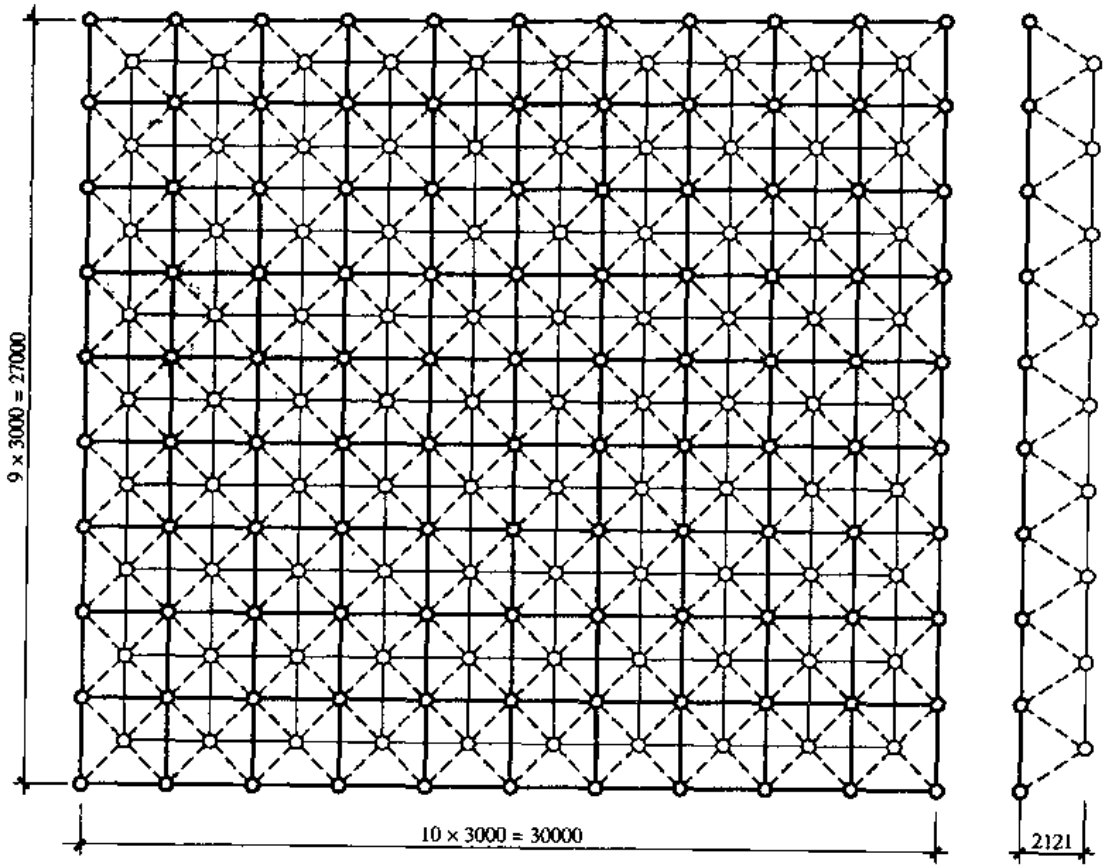


图 7-200 网架平面布置图

上弦节点：中间节点 $Q=1.2\times(0.6+0.1+0.18/2)\times 9+1.4\times 0.5\times 9=14.83\text{kN}$

端节点 $Q=1.2\times(0.6+0.1+0.18/2)\times 4.5+1.4\times 0.5\times 4.5=7.42\text{kN}$

下弦节点：中间节点 $Q=1.2\times(0.1+0.18/2)\times 9=2.05\text{kN}$

端节点 $Q=1.2\times(0.1+0.18/2)\times 4.5=1.03\text{kN}$

4. 杆件内力

根据空间桁架位移法编制的电算程序计算的杆件内力设计值见图 7-201。

5. 杆件截面选择

杆件承载力设计值计算见表 7-38；杆件截面选择见图 7-202。

杆件承载力设计值计算 **表 7-38**

杆件编号	截面规格（mm）	计算长度（m）		承载力设计值（kN）		
		上、下弦杆和端部腹杆	腹杆	上弦杆和端部腹杆承压	腹杆承压	承　拉
1	$\phi 51\times 2.5$	$0.9\times 3=2.7$	$0.8\times 3=2.4$	23.3	28.4	81.9
2	$\phi 60\times 3.0$			42.8	51.1	115.5
3	$\phi 76\times 3.5$			89.6	102.5	171.4
4	$\phi 89\times 4.0$			143.1	158.4	229.6
5	$\phi 114\times 4.5$			249.6	265.3	332.8

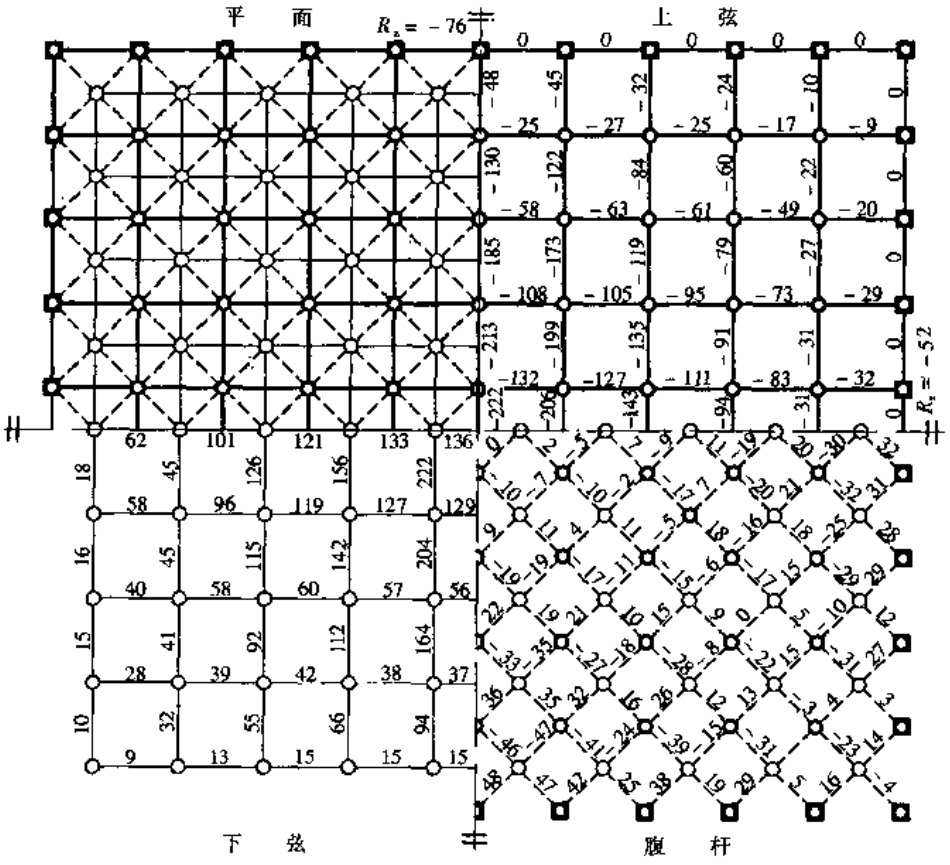


图 7-201　杆件内力图

6. 焊接钢球截面选择

采用不加肋的焊接空心球，根据杆件最大内力处弦杆与腹杆排列位置及夹角，初选钢球直径 $D = 200\text{mm}$，壁厚 $t = 6\text{mm}$。

按公式（7-98）计算的空心球受压承载力设计值为

$$N_c = \eta_c\left(400t \cdot d - 13.3\,\frac{t^2 d^2}{D}\right) = 1.0 \times \left(400 \times 6 \times 114 - 13.3\,\frac{6^2 \times 114^2}{200}\right)$$

$$= 242.5\text{kN} > 222\text{kN}$$

按公式（7-99）计算的空心球受拉承载力设计值为

$$N_t = 0.55\eta_t t d \pi f = 0.55 \times 1.0 \times 6 \times 114 \times \pi \times 215 = 254.1\text{kN} > 222\text{kN}$$

按公式（7-97）计算的空心球最小直径为

$$D = \frac{d_1 + 2a + d_2}{\theta} = \frac{114 + 2 \times 10 + 51}{(60/180) \times \pi} = 177\text{mm} < 200\text{mm}$$

故所选 $D \times t = 200\text{mm} \times 6mm$ 的焊接空心球拉、压承载力均满足设计要求。

7. 节点连接计算

所有杆件均与焊接空心球采用等强度的坡口焊缝。支座节点设计从略。

8. 挠度

根据电算结果，理论挠度值为 $61.7\text{mm} < L_2/250 = 108\text{mm}$。

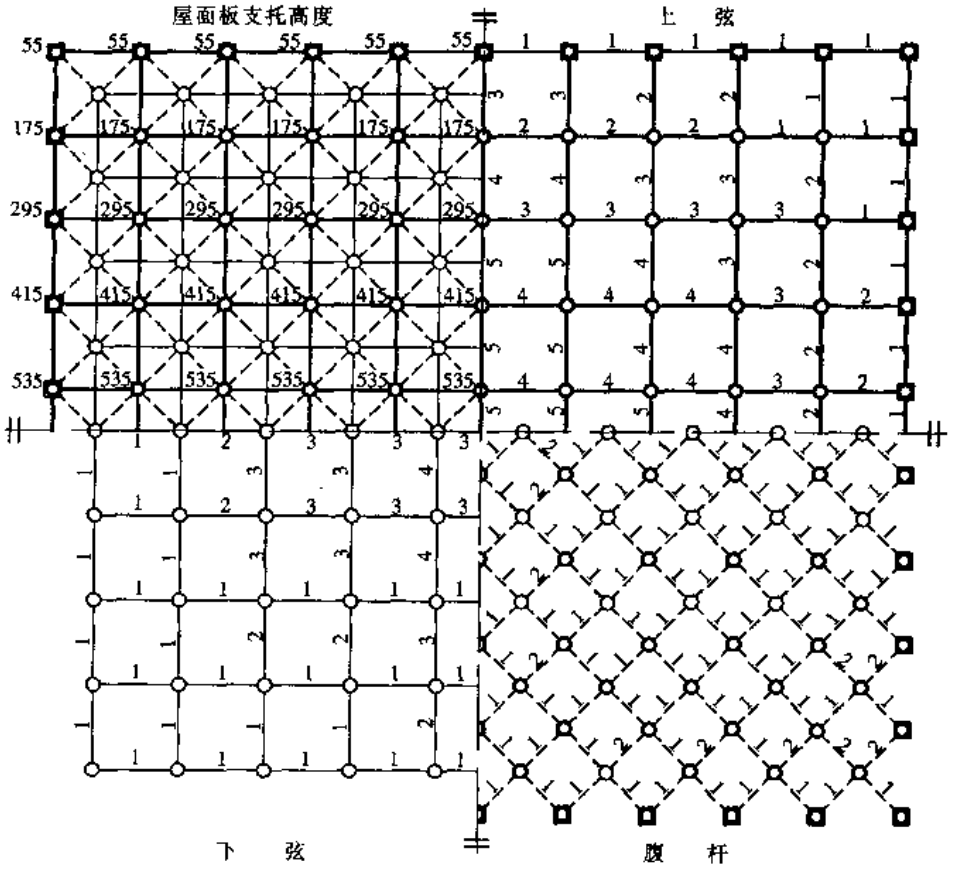


图 7-202 杆件截面编号图

7.6 屋 盖 支 撑

7.6.1 基本要求

根据 2.5.1 节第 5 条，为保证承重结构在安装和使用过程中的整体稳定性，提高结构的空间作用，减小屋架杆件在平面外的计算长度，应根据结构的形式、跨度、房屋高度、吊车吨位和所在地区的抗震设防烈度等设置支撑系统。

屋盖支撑系统包括横向支撑、竖向支撑、纵向支撑和系杆（刚性系杆和柔性系杆）。

设计屋盖支撑时应遵守以下原则：

1. 在设置有纵向支撑的水平面内必须设置横向支撑，并将二者布置为封闭型。

2. 所有横向支撑、纵向支撑和竖向支撑均应与屋架、托架、天窗架等的杆件或檩条组成几何不变的桁架形式。

3. 在房屋每个温度区段或分期建设的区段中，应分别设置能独立构成空间稳定结构的支撑体系。

4. 传递风力、吊车水平力和水平地震作用的支撑，应能使外力由作用点尽快传递到结构的支座。

5. 柱距越大，吊车工作量越繁重，支撑的刚度应越大。

6. 在地震区应适当增加支撑，并加强支撑节点的连接强度。

支撑设置时可考虑大型屋面板（无檩体系）或檩条（有檩体系）的支撑作用，此时它们与屋架上弦应有可靠连接。大型屋面板至少与屋架上弦有三点可靠焊连（焊缝焊脚尺寸 $h_f \geqslant 5\text{mm}$，长度 $l_w \geqslant 60\text{mm}$），同时屋面板的支承长度不得小于60mm。檩条与焊接于屋架上弦的檩托用螺栓连接。

7.6.2　支撑的布置和形式

1. 三角形屋架支撑

三角形屋架的支撑布置见图7-203、图7-204。

（1）横向支撑

在所有屋架中均应设置上弦横向支撑。檩条一般可兼作支撑中的直撑，并与斜撑在交叉点处相连。

由于屋架的下弦杆一般为拉杆，故当屋架的跨度≤18m和吊车吨位≤5t时，也可不设下弦横向支撑，此时，下弦杆在屋架平面外的长细比可用系杆来保证。

凡属下列情况之一者，宜设置屋架下弦横向支撑：

1）房屋较高，风力较大，端墙风力宜由屋架下弦平面传至柱顶时；

2）房屋内设有10t及以上桥式吊车时；

3）屋架下弦杆可能出现压力，需设置系杆时；

4）屋架下弦有通长纵向支撑时。

上、下弦横向支撑一般应设于房屋两端或伸缩缝区段两端的第一个开间内。当房屋端部不设置屋架而以山墙承重时，支撑可缩进第二开间设置。

当房屋单元两端的横向支撑间距较大时，应根据具体情况在房屋的中间开间内增设支撑。支撑间的距离一般不宜大于60m，并应符合表7-39的要求。

（2）纵向支撑

纵向支撑一般设置在屋架下弦平面内，但三角形屋架也可设置在上弦平面内；当设于屋架上弦平面时，可利用檩条兼作纵向支撑中的直撑。

屋架纵向支撑可参照下列情况设置：

1）当房屋较高，跨度较大，空间刚度要求较高时；

2）柱距大于6m时；

3）屋面刚度较差，吊车吨位 $Q \geqslant 20\text{t}$ 时。

（3）竖向支撑

所有房屋均应设置竖向支撑。竖向支撑应与上、下弦横向支撑设在同一开间内。当房屋跨度 $L \leqslant 30\text{m}$ 时，可在屋架端部（梯形屋架）和中央设置一道，当 $L > 30\text{m}$ 时可适当增加。

竖向支撑当高度≤2.5m时，可采用图7-205（a）的形式；当高度＞2.5m时，应采用图7-205（b）的形式。

（4）系杆

与上、下弦横向支撑或竖向支撑节点相连的系杆可作为屋架上、下弦的侧向面定点，以减小上、下弦杆在屋架平面外的长细比。上弦系杆有时可用檩条代替。

系杆可按下列情况和部位设置：

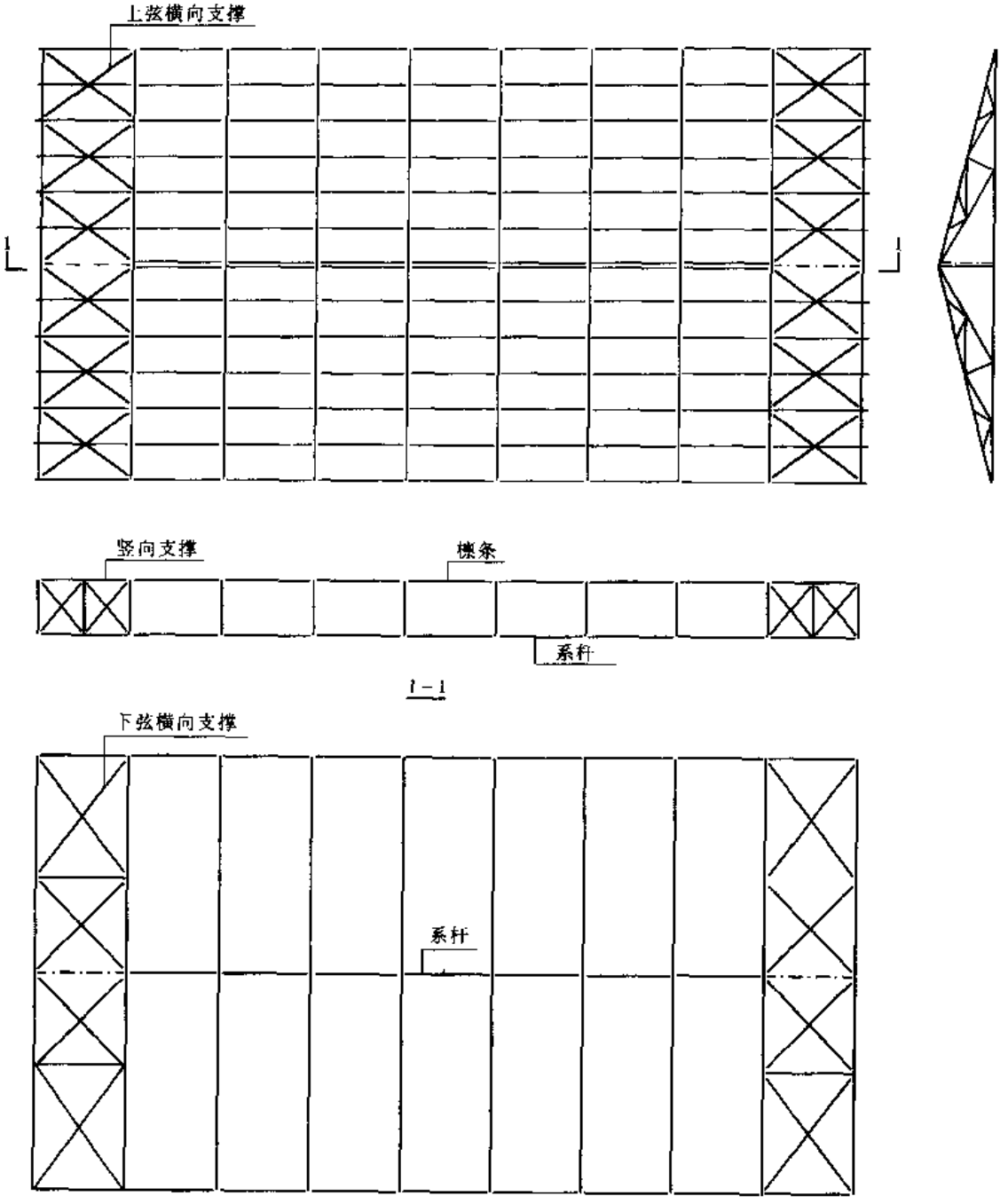


图 7-203 三角形屋架支撑布置（一）

1）竖向支撑所在平面的屋架下弦节点处；

2）当屋架下弦杆考虑以竖向支撑处的系杆作为支点后不能满足其容许长细比的要求时，应增设与下弦横向支撑节点相连的系杆；

3）当支撑设在房屋单元两端第二开间时，在端部第一开间的上、下弦应增设刚性系杆。

系杆有刚性（按压杆设计）和柔性（按拉杆设计）两种，除以上的端开间外：

A. 刚性系杆　横向和纵向支撑中的直杆，上弦屋脊处，屋架端部的上、下弦端节点

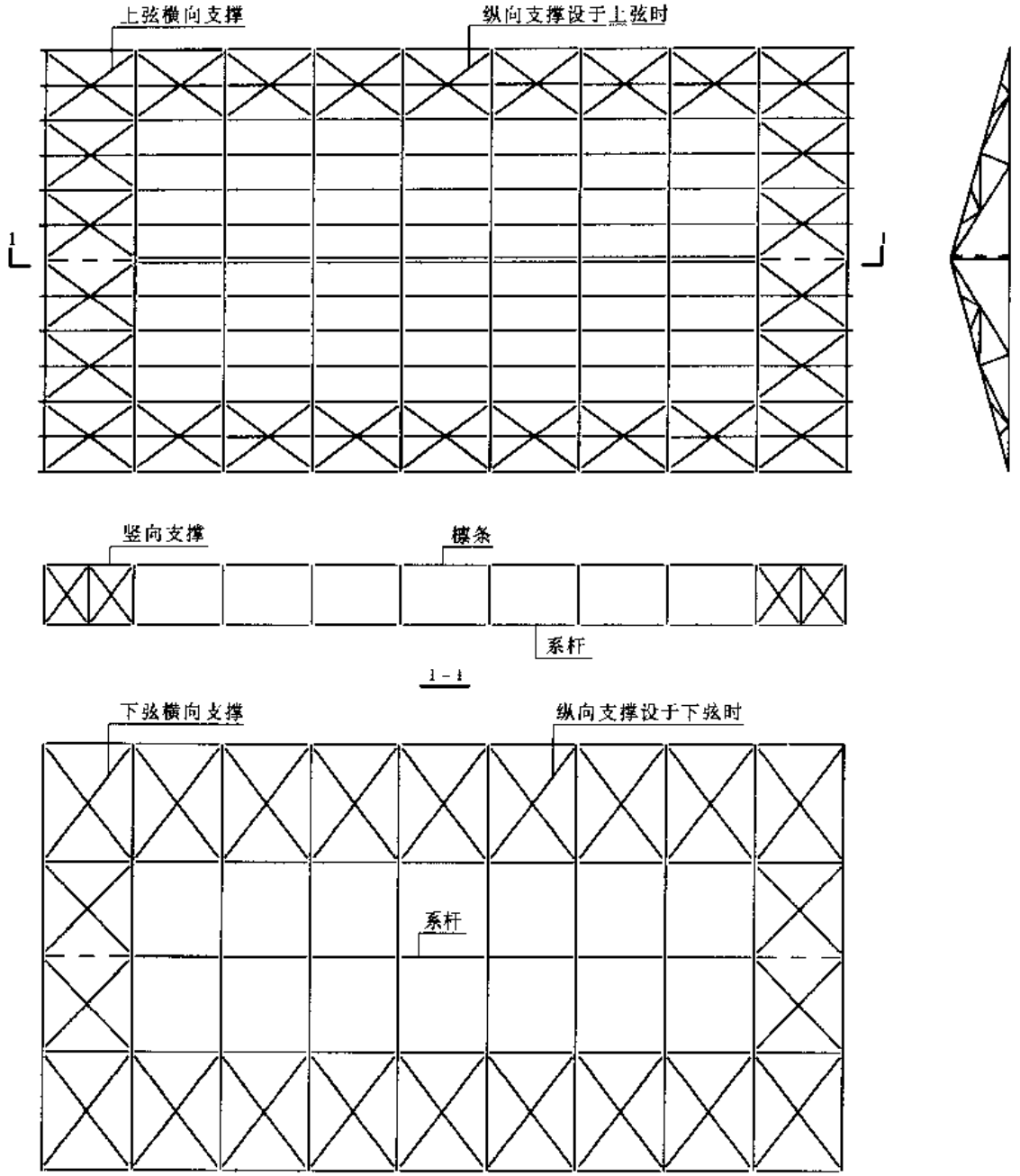


图 7-204　三角形屋架支撑布置（二）

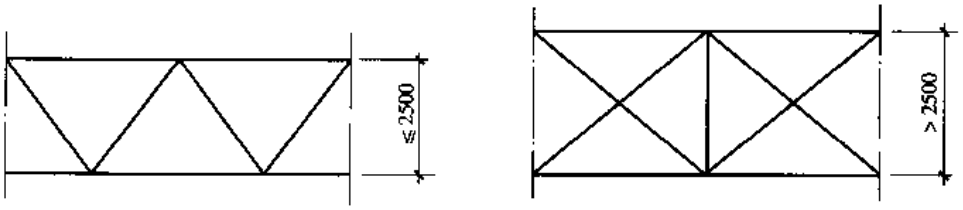


图 7-205　竖向支撑的形式

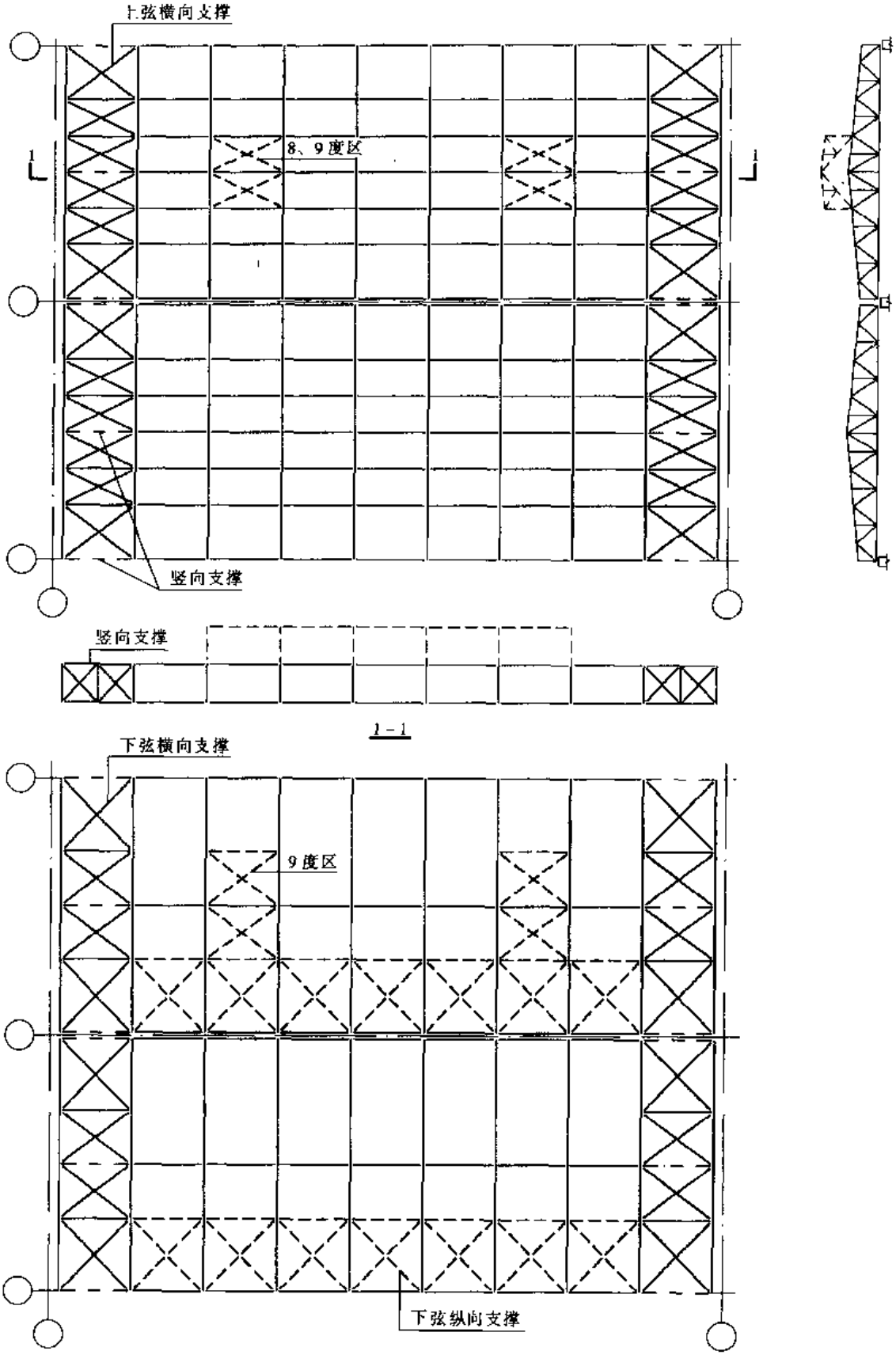


图 7-206 梯形屋架支撑布置（一）

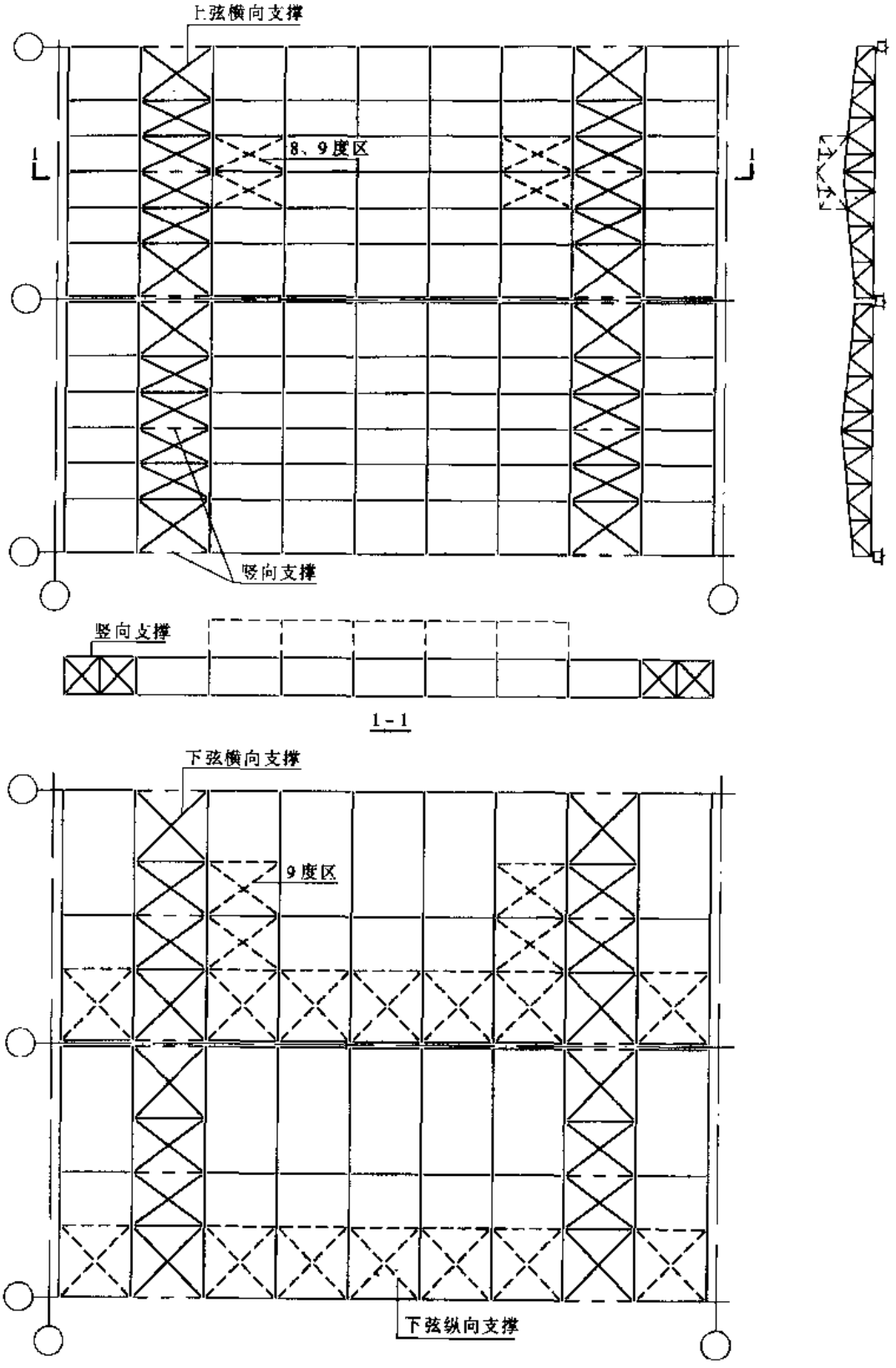


图 7-207　梯形屋架支撑布置（一）

处的系杆。

B. 柔性系杆 除上述以外与横向或竖向支撑相连节点处的系杆。

2. 梯形钢屋架支撑

梯形屋架支撑布置见图 7-206、图 7-207。

(1) 上、下弦横向支撑,跨中及端部竖向支撑一般均设于厂房单元端开间,见图7-206。

(2) 在非地震区,当采用山墙承重或抗震设防烈度 6、7 度有天窗时,为使屋架支撑与天窗架支撑位于同一开间内,也可将屋架支撑设于第二柱间,见图 7-207。

(3) 当厂房单元长度大于 66m 时,在柱间支撑开间内应增设上、下弦横向支撑和跨中及端部竖向支撑。

(4) 竖向支撑

1) 竖向支撑宜设置在设有横向支撑的屋架间。

2) 跨中竖向支撑当高度 $\leqslant$2.5m 时,可采用图 7-205 (a) 形式;当高度 > 2.5m 时,应采用图 7-205 (b) 形式。

(5) 纵向支撑

当厂房内有较大吨位的重级或中级工作制吊车,或有较大振动设备以及厂房较高且跨度较大,其空间刚度要求较高时,均应在屋架下弦端节间设置纵向支撑,纵向支撑与横向支撑应布置为封闭型 (图 7-206、图 7-207),以增强厂房刚度。

(6) 上弦通长水平系杆 (有檩体系可根据檩条刚度适当减少)

1) 在未设置竖向支撑的屋架间,相应于竖向支撑的屋架上、下弦节点处应设置水平系杆。天窗缺口范围内的系杆按该段屋架上弦杆平面外的长细比计算要求设置。屋架端部上弦标高处有现浇圈梁时,其端部处可不另设,并应满足下列条件 2)、3);

2) 当有较大吨位的重级工作制吊车或较大振动设备的房屋,系杆间距不宜大于 6m;

3) 安装时应设置临时系杆,保证安装屋架时上弦杆平面外的长细比 $\lambda_y \leqslant 250$。

(7) 下弦通长水平系杆

根据屋架下弦杆平面外的长细比 λ_y 要求设置:

1) 一般在跨中及屋架两端竖向支撑处各设一道系杆,当屋架端部下弦标高处有现浇圈梁时可不在该处设;

2) 当永久荷载与风荷载组合,屋架下弦杆可能受压或跨度较大时,按长细比 λ_y 要求设置。

3. 抗震区支撑布置

对抗震区,有檩条屋盖屋架支撑布置宜符合表 7-39 的要求,无檩条屋盖宜符合表7-40的要求,有中间井式天窗时宜符合表 7-41 的要求。同时屋盖支撑尚应符合以下要求:

抗震区有檩屋盖屋架支撑布置 表 7-39

支撑名称	烈度		
	6、7	8	9
上弦横向支撑	厂房单元端开间各设一道	厂房单元端开间及厂房单元长度大于66m的柱间支撑开间各设一道; 天窗开洞范围的两端各增设局部的支撑一道	厂房单元端开间及厂房单元长度大于42m的柱间支撑开间各设一道; 天窗开洞范围的两端各增设局部的支撑一道
下弦横向支撑	同非抗震设计		
跨中竖向支撑			
端部竖向支撑	屋架端部高度≥900mm时,厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道		

抗震区无檩屋盖屋架支撑布置　　表 7-40

支撑名称		烈度		
		6、7	8	9
上弦横向支撑		屋架跨度＜18m时同非抗震设计，跨度≥18m时在厂房单元端开间各设一道	厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道；天窗开洞范围的两端各增设局部的支撑一道	
上弦通长水平系杆		同非抗震设计	沿屋架跨度≤15m设一道，但装配整体式屋面可不设；围护墙在屋架上弦高度有现浇圈梁时，其端部可不另设	沿屋架跨度≤12m设一道，但装配整体式屋面可不设；围护墙在屋架上弦高度有现浇圈梁时，其端部可不另设
下弦横向支撑			同非抗震设计	同上弦横向支撑
跨中竖向支撑				
两端竖向支撑	屋架端部高度≤900mm		厂房单元端开间各设一道	厂房单元端开间及每隔48m各设一道
	屋架端部高度＞900mm	厂房单元端开间各设一道	厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道	厂房单元端开间、柱间支撑开间及每隔30m各设一道

抗屋区有中间井式天窗无檩屋盖屋架支撑布置　　表 7-41

支撑名称		烈度		
		6、7	8	9
上弦横向支撑 下弦横向支撑		厂房单元端开间各设一道	厂房单元端开间及柱间支撑开间各设一道	
上弦通长水平系杆		天窗范围内屋架跨中上弦节点处设置		
下弦通长水平系杆		天窗两侧及天窗范围内屋架下弦节点处设置		
跨中竖向支撑		有上弦横向支撑开间设置，位置与下弦通长系杆相对应		
两端竖向支撑	屋架端部高度≤900mm	同非抗震设计		有上弦横向支撑开间，且间距≤48m
	屋架端部高度＞900mm	厂房单元端开间各设一道	有上弦横向支撑开间，且间距≤48m	有上弦横向支撑开间，且间距≤30m

（1）天窗开洞范围内，在屋脊点处应设置上弦通长水平压杆。

（2）屋架跨中竖向支撑在跨度方向的间距，6～8度时≤15m，9度时≤12m；当仅在跨中设一道时，应设在跨中屋架屋脊处；当设两道时，应在跨度方向均匀设置。

（3）屋架上、下弦通长水平系杆与竖向支撑宜配合设置。

（4）柱距≤12m且屋架间距6m的厂房，托架（梁）区段及其相邻开间应设下弦纵向水平支撑。

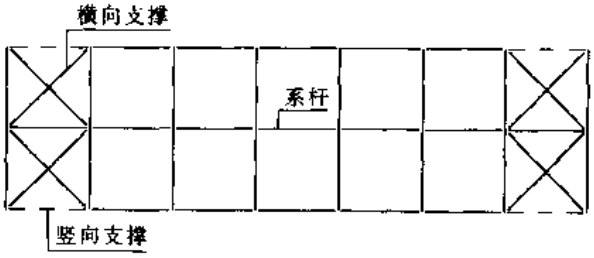


图 7-208　天窗架支撑布置

4. 天窗架支撑

（1）对非抗震区，当伸缩缝间距≤66m时，仅在天窗架结构单元两端的第一柱间内各设一道上弦横向支撑；当伸缩缝间距＞66m，≤99m时，除在天窗架结构单元两端设置外，还应在天窗架结构单元中部设有

屋架横向支撑的柱间增设天窗架竖向支撑和横向支撑。

（2）对抗震区，天窗架支撑布置宜符合表 7-42 的要求。

（3）对于三角拱式天窗架，竖向支撑设置天窗架两侧；对于三支点式天窗架，竖向支撑则应在两侧及跨中设置。

（4）其他无支撑开间的天窗架上弦中央设置一道柔性系杆，见图 7-208。

抗震区天窗架支撑布置　　表 7-42

屋盖体系	支撑名称	设防烈度		
		6、7	8	9
有檩屋盖	上弦横向支撑	厂房单元天窗端开间各设一道	厂房单元天窗端开间及每隔 30m 各设一道	厂房单元天窗端开间及每隔 18m 各设一道
	两侧竖向支撑	厂房单元天窗端开间及每隔 36m 各设一道		
无檩屋盖	上弦横向支撑	同非抗震设计	天窗跨度≥9m 时，厂房单元天窗端开间及柱间支撑开间各设一道	厂房单元天窗端开间及柱间支撑开间各设一道
	两侧竖向支撑	厂房单元天窗端开间及每隔 30m 各设一道	厂房单元天窗端开间及每隔 24m 各设一道	厂房单元天窗端开间及每隔 18m 各设一道

7.6.3 杆件截面设计

1. 支撑中的交叉斜杆按拉杆设计；与交叉斜杆相连或相邻的水平竖杆按压杆设计。

在两个横向支撑之间及相应于竖向支撑平面屋架间的上、下弦节点处的系杆，除在上、下弦杆端部及上弦杆跨中的系杆外，一般按拉杆设计；当横向支撑设在厂房单元端部第二柱间时，则第一柱间的所有系杆均按压杆设计。

2. 压杆宜采用双角钢组成的十字形截面或 T 形截面，按压杆设计的刚性系杆也可采用钢管截面。拉杆一般采用单角钢制作，对有张紧装置的交叉斜杆可采用直径 d 为 16mm 的圆钢截面。

支撑杆件一般按长细比要求选择截面，具体要求见表 2-15 和表 2-16。

确定桁架交叉腹杆的长细比，在桁架平面内的计算长度 l_{0x} 应取节点中心到交叉点间的距离（$l/2$）；在桁架平面外的计算长度 l_{0y}，当两交叉杆长度相等并在交叉点相互连接时，对拉杆应取 l，l 为节点中心间距离（交叉点不作为节点考虑）。系杆的计算长度 $l_{0x} = l_{0y} = l$（l 为屋架或柱间距离）。

计算单角钢杆件（包括系杆）的长细比时，应采用角钢的最小回转半径，计算长度可取几何长度的 0.9 倍；但计算单角钢交叉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径，计算长度取对角线全长。

支撑杆件的节点板厚度通常采用 6～8mm，荷载和跨度较小时也可采用 5mm。

兼作支撑桁架弦杆、横杆或端竖杆的檩条、屋架（或天窗架）竖杆等，其长细比应满足支撑压杆的要求，屋架（或托架）的受拉弦杆虽兼作横向（或纵向）支撑桁架的弦杆，因其受有较大的拉力，可不受此限制。

3. 对于下列情况的支撑杆件，除应满足长细比的要求外，尚应根据内力，计算其强

度、稳定及连接：

（1）承受较大端墙风力的屋架下弦横向支撑和刚性系杆，以及承受侧墙风力的屋架下弦纵向支撑，当支撑桁架跨度≥24m或风荷载标准值≥0.5kN/m^{2}时；

（2）竖向支撑兼作檩条时；

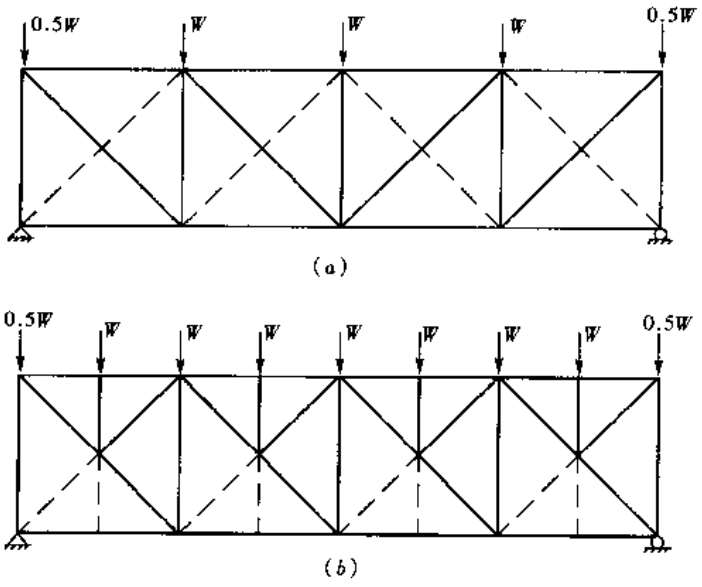


图7-209　支撑桁架杆件内力计算简图

（a）交叉点无竖杆的交叉斜腹杆；（b）交叉点有竖杆的交叉斜腹杆

（3）考虑房屋结构的空间工作而用纵向支撑作为弹性支承的连续桁架时。

具有交叉斜腹杆的支撑桁架，通常将斜腹杆视为柔性杆件，只受拉，不受压，因而每个节间只有受拉的斜腹杆参加工作。图7-209为承受水平荷载的横向或纵向支撑桁架的计算简图。

4. 对于抗震设防烈度为6～9度的屋架两端竖向支撑和天窗架两侧竖向支撑，除应按表7-39～表7-42中的规定设置外，尚应验算其纵向抗震强度。验算时取房屋纵向基本自振周期T_1，当无确切资料（如编制标准构件）时，也可取$T_1 = T_g$，即$\alpha_1 = \alpha_{max}$，对于天窗架两侧竖向支撑，其地震作用效应宜乘以2.0的增大系数。

7.6.4　连接构造

支撑与屋架和天窗架的连接一般均采用C级螺栓，每个连接节点处采用两个螺栓，连接螺栓直径为16～20mm。

支撑与屋架下弦杆采用螺栓连接时，栓孔应在屋架节点板范围内距板边不小于100mm，否则应验算断面削弱影响或加大节点板以满足上述边距100mm的要求；当下弦支撑与预焊于屋架下弦杆上的支撑节点板相连时则不受此限制。对设有重级工作制吊车或有较大振动设备的厂房，及抗震设防烈度≥6度时，支撑与屋架的连接，除设置安装螺栓外，还应加安装焊缝。焊缝宜根据地震作用的杆件内力确定或与杆件等强，焊缝焊脚尺寸不宜小于5mm，每边的焊缝长度不宜小于60mm，地震区不宜小于80mm，且不容许在屋架满负荷的情况下施焊。参照4.2.3节对仅采用螺栓连接而不加焊接时，应待构件校正固定后将螺丝扣打毛或将螺杆与螺母焊接，以防松动。

1. 支撑与角钢屋架的连接

（1）上弦支撑与屋架的连接见图7-210～图7-214，这五种连接均有节点偏心，设计中应尽量减小偏心值。

图7-210适用于上弦角钢肢宽较大便于钻孔的情况；图7-211适用于角钢肢宽较小不便钻孔的情况，此时可将连接板预先焊在屋架上。

图7-212、图2-213为圆钢交叉支撑与屋架的连接。图7-212连接件伸出屋架上弦少，便于运输，采用端部螺母张紧圆钢。图7-213将圆钢支撑两端的连接板与屋架螺栓连接，

安装方便，但需设置花篮螺栓张紧圆钢。

图 7-210～图 7-213 均为有檩体系屋盖，当檩条满足压杆长细比要求并留有 10%以上应力或荷载裕量时，均可作为屋架上弦杆平面外的侧向支承点。

图 7-214 为屋盖上弦支撑与屋架的连接，此时支撑横杆或系杆应与预先焊在上弦杆及腹杆上的竖板相连，以免这些杆件突出上弦杆表面影响屋面板或檩条安装。

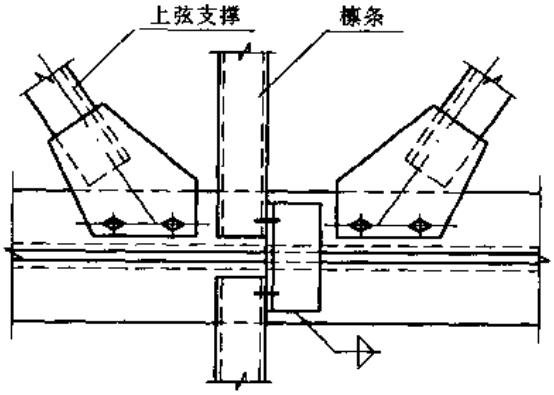


图 7-210 上弦支撑与角钢屋架连接（一）

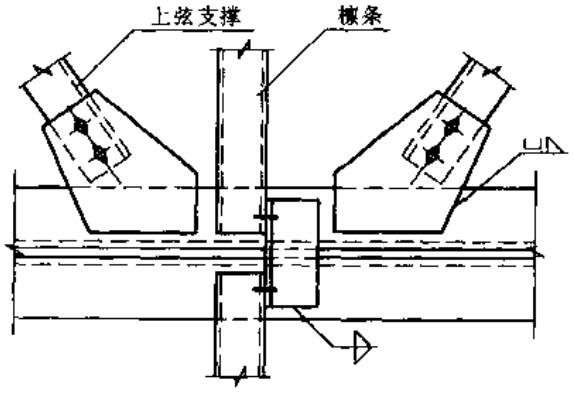


图 7-211 上弦支撑与角钢屋架连接（二）

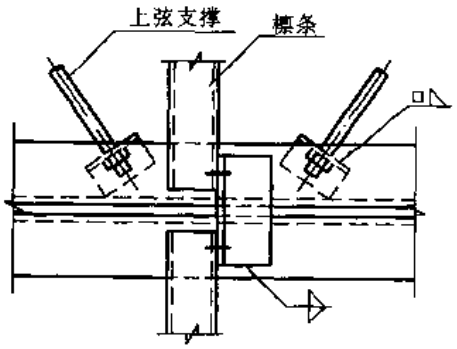


图 7-212 上弦支撑与角钢屋架连接（三）

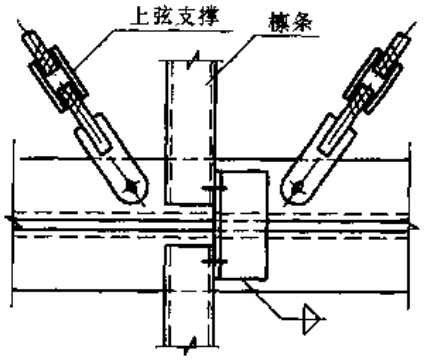


图 7-213 上弦支撑与角钢屋架连接（四）

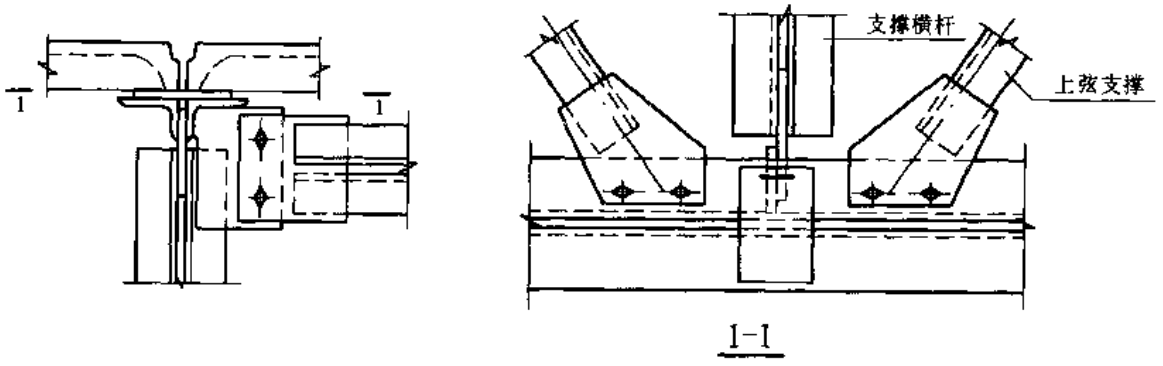


图 7-214 上弦支撑与角钢屋架连接（五）

（2）下弦支撑与屋架的连接见图 7-215～图 7-217。交叉支撑与屋架下弦杆的连接，通常将一根角钢肢尖朝上，另一根朝下，使交叉点处两杆均不中断。

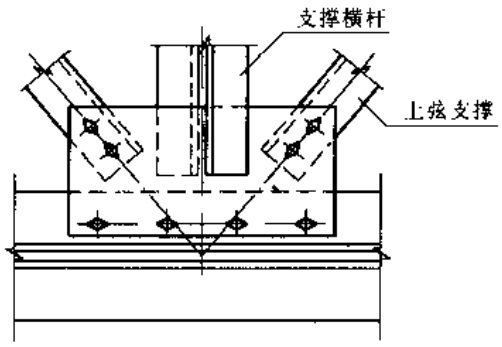


图 7-215　下弦支撑与角钢屋架连接（一）

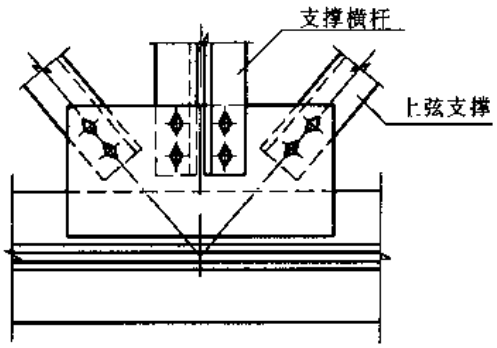


图 7-216　下弦支撑与角钢屋架连接（二）

图 7-215 支撑与屋架直接用螺栓连接，图 7-216 支撑与预先焊在屋架上的连接板用螺栓连接，这两种方法支撑横杆与交叉斜杆共用节点板，使节点较紧凑，可按角钢肢宽大小确定采用哪种形式。图 7-217 有节点偏心，但支撑编号较少，安装方便。

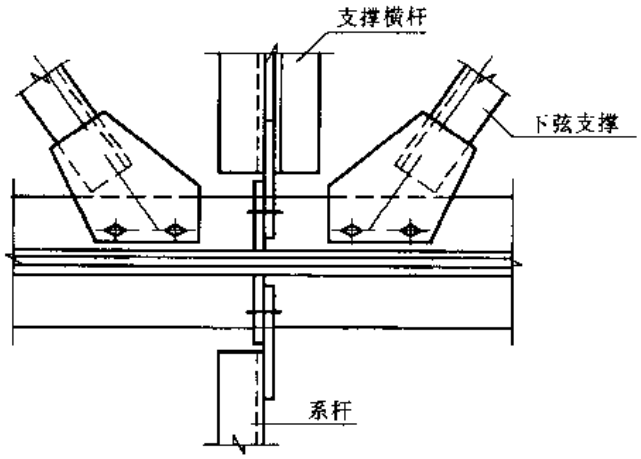


图 7-217　下弦支撑与角钢屋架连接（三）

横向支撑和纵向支撑一般采用交叉的形式，见图 7-218。

为避免角钢肢尖与檩条或大型屋面板相碰，上弦支撑交叉杆一般均采用角钢肢尖朝下的布置（图 7-218*a*、*b*）。当支撑的交叉点与型钢檩条相遇时，可在檩条底面设节点板将支撑与檩条连接（图 7-218*b*），这样可将此檩条视为屋架上弦杆的平面外支承点。

下弦支撑宜将一根角钢肢尖朝上，另一根朝下，使交叉点处均不中断，两角钢的肢背用螺栓加垫圈互相连接（图 7-218*c*）。

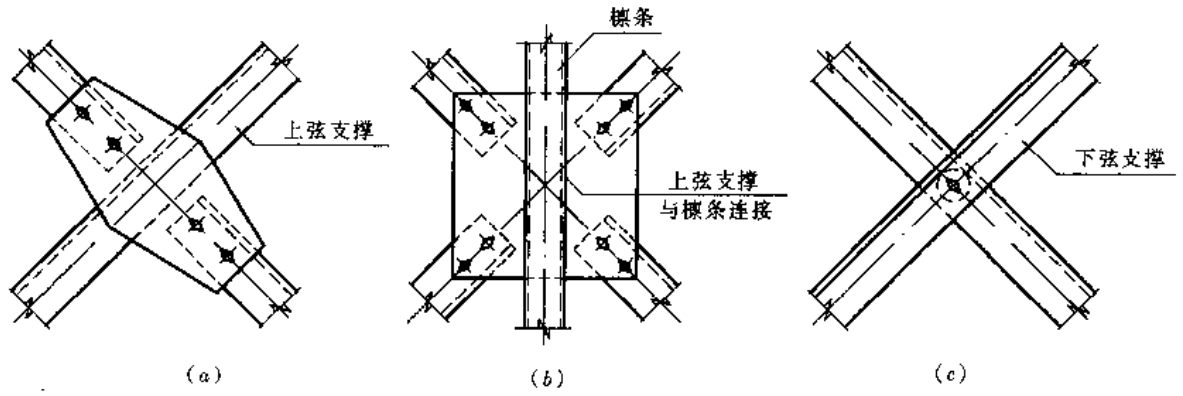


图 7-218　上、下弦支撑交叉点构造

（3）竖向支撑与屋架的连接见图 7-219、图 7-220。图 7-219 竖向支撑与屋架竖腹杆相

连，构造简单，但传力不够直接，节点较弱，适用于屋面荷载较轻或跨度较小的情况。图7-220构造复杂，但传力较直接，节点较强，适用于跨度较大和抗震区的情况。

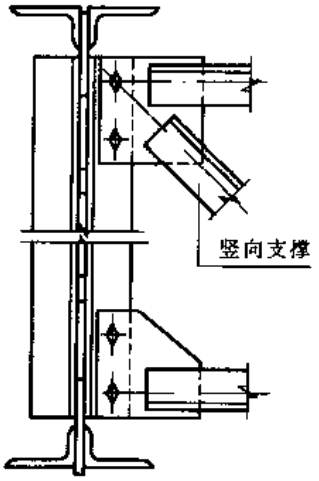


图 7-219 竖向支撑与角钢屋架连接（一）

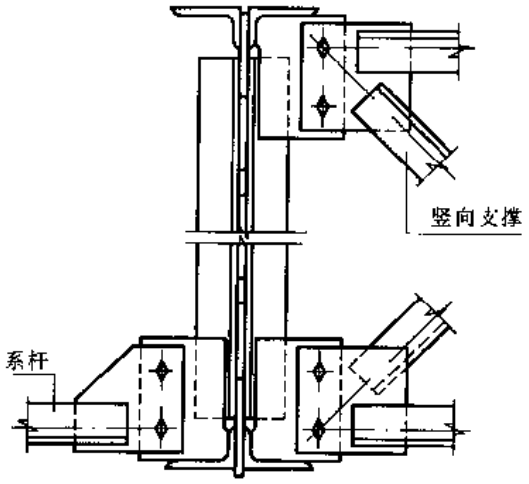


图 7-220 竖向支撑与角钢屋架连接（二）

2. 支撑与方管屋架的连接

（1）上弦支撑与屋架的连接见图7-221～图7-223。

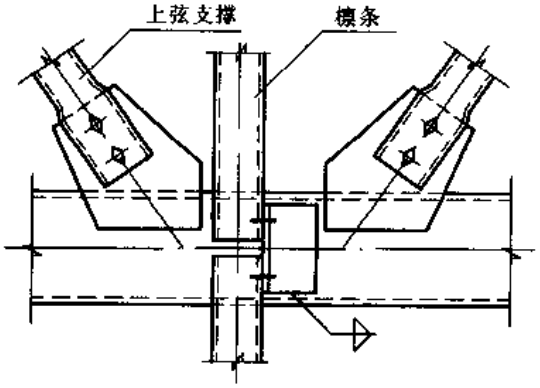


图 7-221 上弦支撑与方管屋架连接（一）

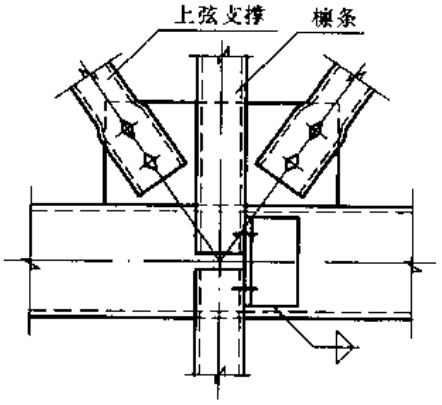


图 7-222 上弦支撑与方管屋架连接（二）

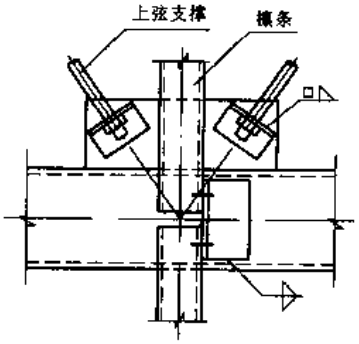


图 7-223 上弦支撑与方管屋架连接（三）

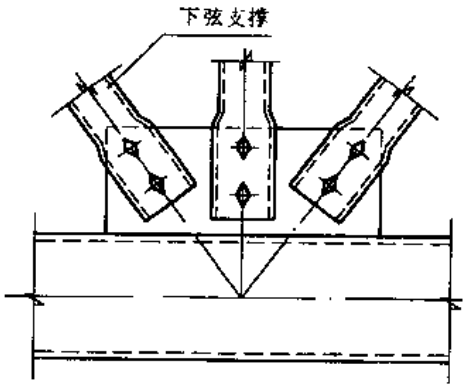


图 7-224 下弦支撑与方管屋架连接

（2）下弦支撑与屋架的连接见图 7-224，一般均采用无偏心的连接。

（3）竖向支撑与屋架上弦的连接见图 7-225、图 7-226。图 7-225 屋架的安装螺栓沿竖向设置，因而连接板伸出上弦顶面较多。图 7-226 安装螺栓沿横向设置，连接板伸出顶面较少。

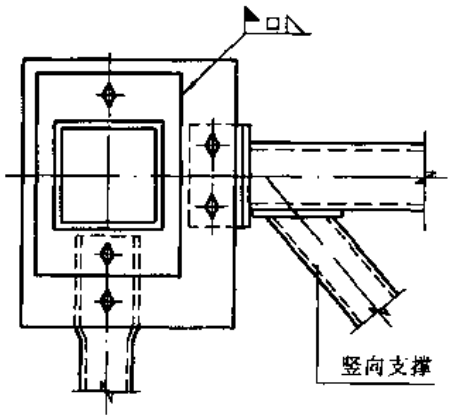


图 7-225　竖向支撑与方管屋架上弦连接（一）

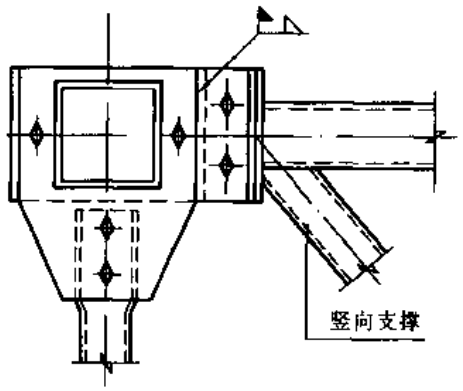


图 7-226　竖向支撑与方管屋架上弦连接（二）

（4）竖向支撑与屋架下弦的连接见图 7-227。

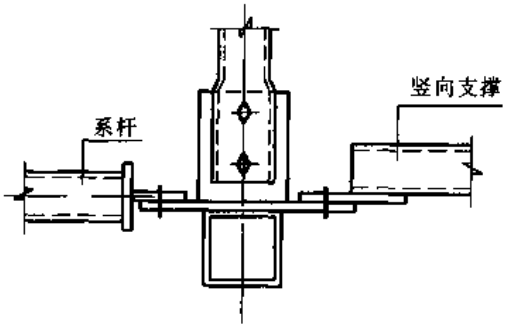


图 7-227　竖向支撑与方管屋架下弦连接

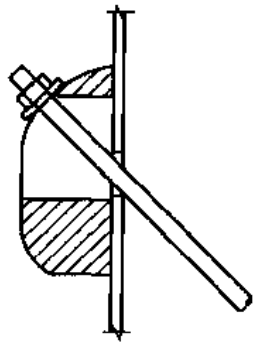


图 7-228　圆钢交叉支撑与刚架连接

3．支撑与刚架的连接

（1）隅撑与刚架的连接构造见第 9 章图 9-11。

（2）圆钢交叉支撑与刚架构件连接，如不设连接板，可直接在刚架构件腹板上靠外侧设孔连接（图 7-228）。当腹板厚度≤5mm 时，应对支撑孔周边进行加强。圆钢支撑的连接宜采用带槽的专用楔形垫圈。圆钢端部应设丝扣，可用螺帽将圆钢张紧。

7.6.5　支撑设计实例

【例题 7-16】　承受风荷载的横向支撑（ZC—1）

1．设计资料

梯形钢屋架跨度 21m，端开间柱距 5.4m，其余 6.0m，屋面坡度 1/10。基本风压 w_0 = 0.7kN/m^2，屋架下弦距地面高度 9m，屋脊距地面高度 11.6m，下弦横向支撑承受山墙墙架柱传来的风荷载。钢材 Q235，焊条 E43 型。下弦横向支撑的结构形式、几何尺寸见图 7-229。

2．风荷载设计值和杆件内力

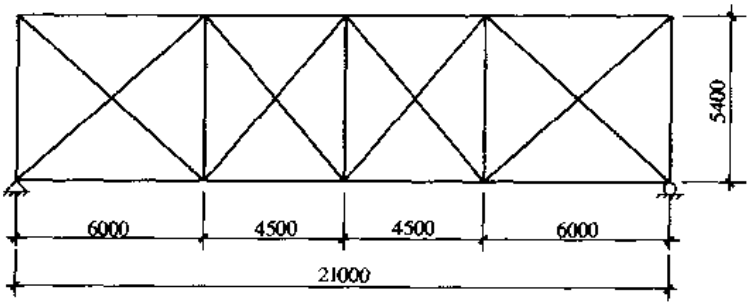


图 7-229 支撑形式和几何尺寸

地面粗糙度类别 B，由《建筑结构荷载规范》GBJ 50009—2001，风荷载高度变化系数（取屋脊处）$\mu_z = 1.045$，山墙体型系数 μ_s 取 ± 1.0，风振系数 β_z 取 1.0，则垂直于山墙的风荷载标准值 $w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 = 1.0 \times 1.0 \times 1.045 \times 0.7 = 0.732 \text{kN/m}^2$。作用于支撑桁架的节点荷载设计值

$$W_1 = 1.4 \times 0.732 \times (9 + 2.6)/2 \times 6/2 = 17.83\text{kN}$$

$$W_2 = 1.4 \times 0.732 \times (9 + 2.6)/2 \times (6 + 4.5)/2 = 31.21\text{kN}$$

$$W_3 = 1.4 \times 0.732 \times (9 + 2.6)/2 \times 4.5 = 26.75\text{kN}$$

计算简图及杆件内力见图 7-230。

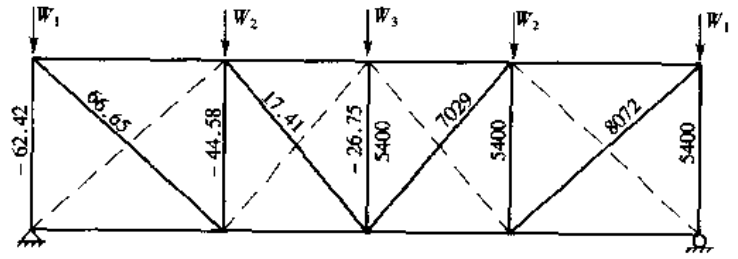


图 7-230 计算简图和杆件内力

3. 杆件截面选择及计算

节点板厚度采用 6mm。

（1）横杆（直腹杆）

取端横杆（最不利）计算，$N = -62.42\text{kN}$，$l_0 = 0.9l = 0.9 \times 540 = 486\text{cm}$

选用┘┌70×5，$A = 14.824\text{cm}^2$，$i = 2.92\text{cm}$

$$\lambda = l_0/i = 486/2.92 = 166.4 < 200$$

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi = 0.257$，按公式（3-44）计算的稳定性为

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{62.42 \times 10^3}{0.257 \times 14.824 \times 10^2} = 163.8\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

（2）交叉斜杆（斜腹杆）

取端斜杆（最不利）计算，$N = 66.65\text{kN}$，$l_{0x} = 807.2/2 = 403.6\text{cm}$，$l_{0y} = 807.2\text{cm}$

选用 $\text{L}70 \times 5$，$A = 6.875\text{cm}^2$，$i_x = 1.39\text{cm}$，$i_y = 2.16\text{cm}$

$$\lambda_x = 403.6/1.39 = 290.4,\quad \lambda_y = 807.2/2.16 = 373.7 < 400$$

按公式（3-41）计算的强度为

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{66.65 \times 10^3}{6.875 \times 10^2} = 96.9\text{N/mm}^2 < 0.85 \times 215 = 182.8\text{N/mm}^2$$

4. 节点设计略。

【例题 7-17】 屋架端部竖向支撑（ZC—2）

1. 设计资料

梯形钢屋架跨度 24m，屋架端部高度 1.5m，厂房单元长度 66m，柱距 6.0m，于端开间和中部开间设竖向支撑，支撑布置见图 7-231。屋面材料为 1.5m×6.0m 的钢边框发泡水泥大型屋面板，屋面坡度 1/10，抗震设防烈度 8 度，设计基本地震加速度 $a = 0.2g$。钢材 Q235，焊条 E43××型。

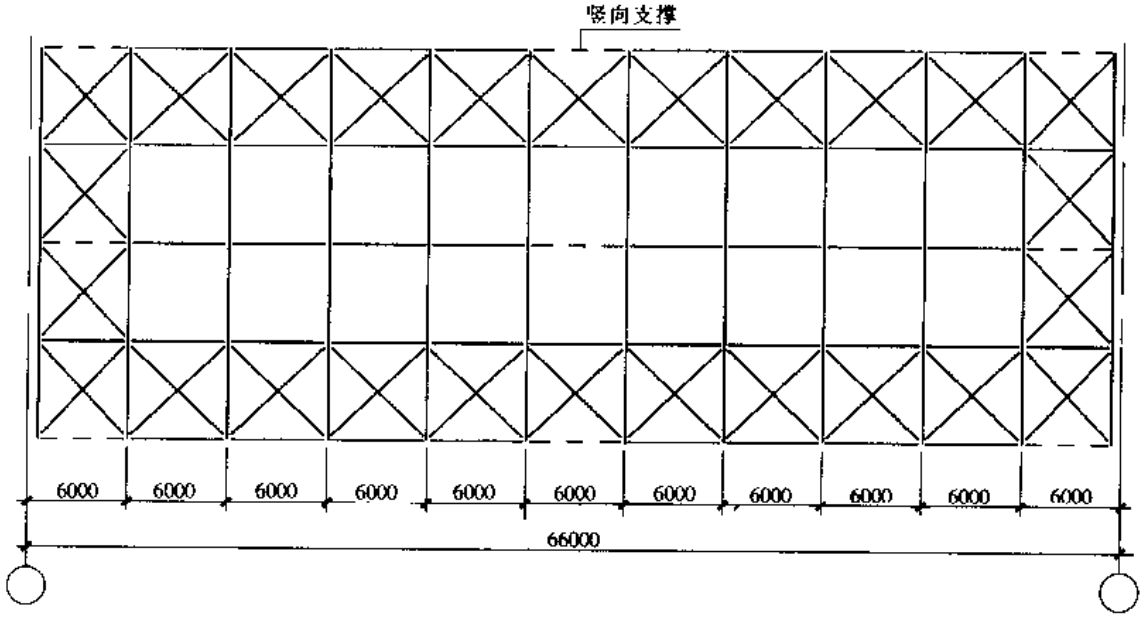


图 7-231　支撑布置

2. 荷载设计值和杆件内力

假设纵向地震作用按各竖向支撑所辖面积分配，现仅对中部开间竖向支撑计算。

屋面板和屋架自重（包括支撑）为 0.95kN/m²；屋面雪荷载为 0.50kN/m²。

重力荷载代表值

$$G_{eg} = (0.95 + 0.5 \times 0.50) \times 24 \times 66 = 1900.8\text{kN}$$

若取 $\alpha_1 = \alpha_{max} = 0.16$，地震作用标准值

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eg} = 0.16 \times 1900.8 = 304.13\text{kN}$$

作用于端部竖向支撑的地震作用设计值由六榀支撑平均承受，则每榀节点力

$$F_h = \gamma_{Eh} F_{Ek}/12 = 1.3 \times 304.13/12 = 32.95\text{kN}$$

计算简图及杆件内力见图 7-232。

3. 杆件截面选择

节点板厚度采用 6mm。承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE} = 0.8$。

（1）上弦杆

$N_1 = -16.48\text{kN}$，$N_2 = 16.48\text{kN}$，$l_{0x} = 300.0\text{cm}$，按公式（7.2-1）

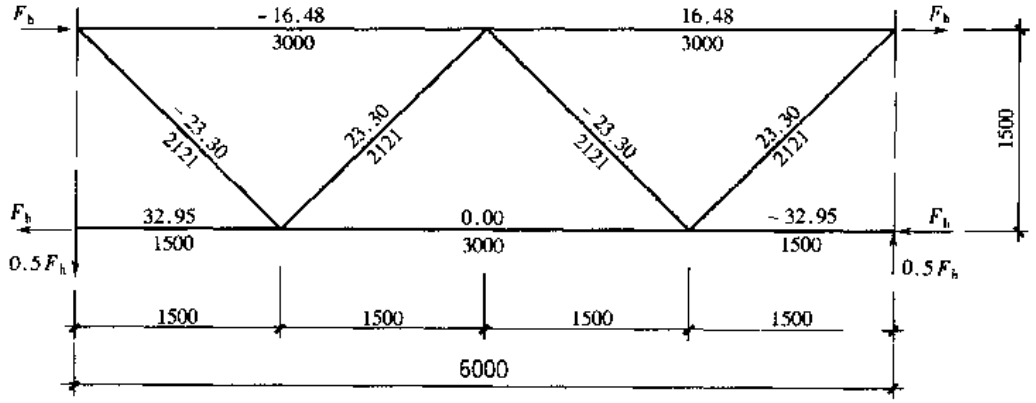


图 7-232 计算简图和杆件内力

$$l_{0y} = l_1\left(0.75 + 0.25\frac{N_2}{N_1}\right) = 600\left(0.75 + 0.25\frac{-16.48}{16.48}\right) = 300.0\text{ cm}$$

选用┐┌70×5，$A = 13.75\text{cm}^2$，$i_x = 2.16\text{cm}$，$i_y = 3.09\text{cm}$

$$\lambda_x = 300.0/2.16 = 138.9 < 200,\quad \lambda_y = 300.0/3.09 = 97.1$$

按公式（3-51a），$b/t = 75/5 = 15.0 < 0.58l_{0y}/b = 0.58 \times 3000/75 = 23.2$

则绕对称轴计及扭转效应的换算长细比为

$$\lambda_{yz} = \lambda_y\left(1 + \frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right) = 97.1\left(1 + \frac{0.475 \times 75^4}{3000^2 \times 5^2}\right) = 103.6$$

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min} = 0.532$，按公式（3-44），则计算的稳定性为

$$\frac{\gamma_{RE}N}{\varphi_{min}A} = \frac{0.8 \times 16.48 \times 10^3}{0.532 \times 13.75 \times 10^2} = 20.3\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

（2）下弦杆

$N = -32.95\text{kN}$，$l_{0x} = 150.0\text{cm}$，$l_{0y} = 600.0\text{cm}$

选用┐┌70×5，$A = 13.75\text{cm}^2$，$i_x = 2.16\text{cm}$，$i_y = 3.09\text{cm}$

$$\lambda_x = 150.0/2.16 = 69.4,\quad \lambda_y = 600.0/3.09 = 194.2 < 200$$

$$b/t = 75/5 = 15.0 < 0.58l_{0y}/b = 0.58 \times 6000/75 = 46.4$$

则绕对称轴计及扭转效应的换算长细比为

$$\lambda_{yz} = \lambda_y\left(1 + \frac{0.475b^4}{l_{0y}^2t^2}\right) = 194.2\left(1 + \frac{0.457 \times 75^4}{6000^2 \times 5^2}\right) = 197.4$$

属 b 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min} = 0.190$，按公式（3-44），则计算的稳定性为

$$\frac{\gamma_{RE}N}{\varphi_{min}A} = \frac{0.8 \times 32.95 \times 10^3}{0.190 \times 13.75 \times 10^2} = 100.9\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

（3）腹杆

$N = -23.30\text{kN}$，$l_0 = 212.1\text{cm}$

选用 L63×5，$A = 6.143\text{cm}^2$，$i_{min} = 1.25\text{cm}$

$$\lambda_{max} = 212.1/1.25 = 169.7 < 200$$

属 6 类截面，查表 14-2，$\varphi_{min} = 0.249$，单角钢钢材强度设计值的折减系数（表 2-9）为 $0.6 + 0.0015 \times 169.7 = 0.855$，按公式（3-44），则计算的稳定性为

$$\frac{\gamma_{RE} N}{\varphi_{min} A} = \frac{0.8 \times 23.30 \times 10^3}{0.249 \times 6.143 \times 10^2} = 121.9 \text{N/mm}^2 < 0.855 \times 215 = 183.8 \text{N/mm}^2$$

4. 节点设计略。

8 吊 车 梁

8.1 概 述

工业房屋中支承桥式或梁式的电动吊车、壁行吊车以及其他类型吊车的吊车梁系统结构，按照吊车生产使用状况和吊车工作制可分为轻级、中级、重级及特重级（冶金厂房内的夹钳、料耙等硬钩吊车）四级。根据〈起重机设计规范〉及建筑结构荷载规范GB50009—2001将吊车工作制划分为A1～A8级。在一般情况下，轻级工作制相当于A1～A3级；中级工作制相当于A4，A5级；重级工作制相当于A6～A8级，其中A8属于特重级。

吊车梁或吊车桁架一般设计成简支结构，因为简支结构具有传力明确、构造简单、施工方便等优点被广泛采用，而连续结构虽较简支结构节约钢材10%～15%，但因计算、构造、施工等远较简支结构复杂，且支座沉陷敏感，对地基要求较高。当吊车梁支座的弹性沉降系数 $C \leqslant 0.05$ 时，可采用连续吊车梁，通常采用三跨或五跨相连接，但国内使用不多。

由于焊接和高强度螺栓连接的发展，目前极大部分吊车梁或吊车桁架均采用焊接结构，栓焊梁也已有使用，而铆接结构仅用于焊接结构有困难的大跨度特重级吊车梁或吊车桁架。

8.2 吊车梁系统的组成和类型

8.2.1 吊车梁系统的组成

1. 吊车梁系统的结构通常是由吊车梁（或吊车桁架）、制动结构、辅助桁架（视吊车吨位、跨度大小确定）及支撑（水平支撑和垂直支撑）等构件组成，见图8-1。

2. 当吊车梁的跨度和吊车起重量均较小、且无需采取其他措施即可保证吊车梁的侧向稳定性时，可采用图8-1（a）的形式。

3. 当吊车梁位于边列柱，且吊车梁跨度 $l \leqslant 12$m，并以槽钢作为制动结构的边梁时，可采用图8-1（b）的形式，当吊车桁架和重级工作制吊车梁跨度等于或大于12m，或轻、中级工作制吊车梁跨度等于或大于18m时，宜设置辅助桁架和下翼缘（下弦）水平支撑系统。当设置垂直支撑时，其位置不宜在吊车梁或吊车桁架竖向挠度较大处，可采用图8-1c的形式。

4. 当吊车梁位于中列柱，且相邻两跨的吊车梁高度相等时，可采用图8-1（d）的形式；当相邻两跨的吊车起重量相差悬殊而采用不同高度的吊车梁时，可采用图8-1（e）的形式。

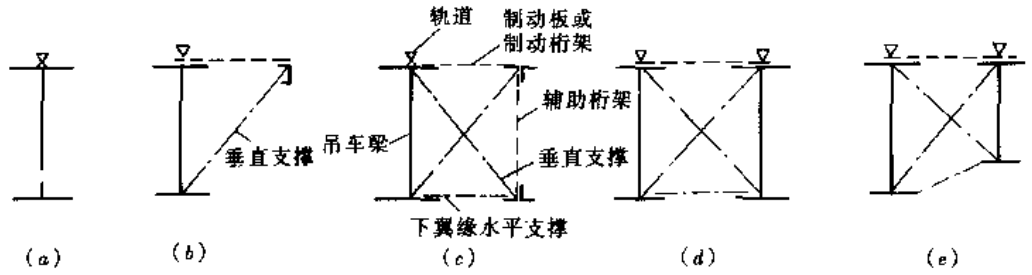


图 8-1　吊车梁系统的结构组成简图

8.2.2　吊车梁的类型

1. 吊车梁和吊车桁架通常可按实腹式和空腹式划分；实腹式的为吊车梁，空腹式的为吊车桁架。

2. 吊车梁有型钢梁、组合工字形梁（有焊接或铆接两种）、Y 形梁及箱形梁等形式，见图 8-2（*a*）至图 8-2（*d*）。其中焊接工字梁为工程中常用的形式。

3. 吊车桁架有桁架式、撑杆式、托架-吊车桁架合一式等。吊车桁架见图 8-2（*e*）、（*f*）。

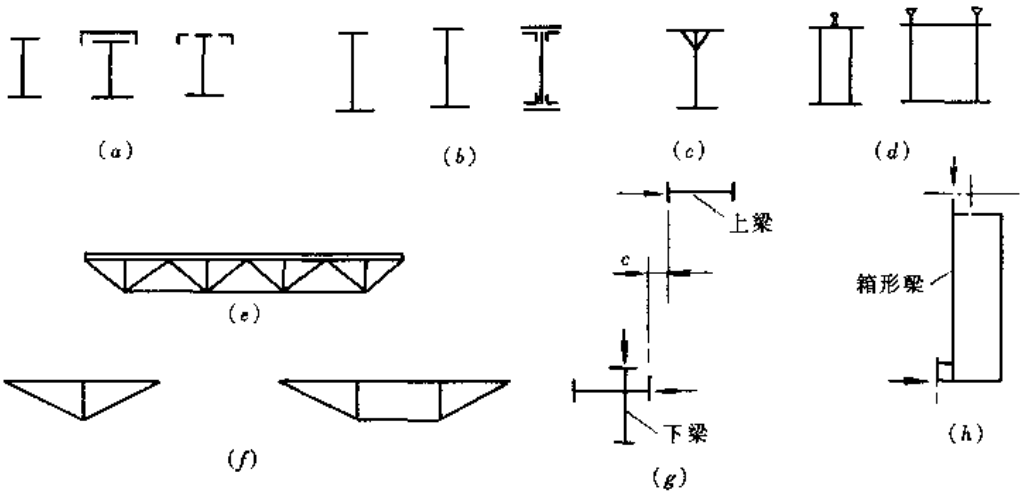


图 8-2　吊车梁和吊车桁架的类型简图

（*a*）型钢吊车梁；（*b*）工字形吊车梁；（*c*）Y 形吊车梁；（*d*）箱形吊车梁；（*e*）吊车桁架；（*f*）撑杆式吊车桁桁架；（*g*）、（*h*）壁行吊车梁

8.2.3　吊车梁或吊车桁架的特点

1. 型钢吊车梁（或加强型钢吊车梁）用型钢（有时用钢板、槽钢或角钢加强上翼缘）制成，制作简单，运输及安装方便，一般适用于跨度≤6m，吊车起重量 $Q\leqslant 10$t 的轻、中级工作制的吊车梁。

2. 焊接工字形吊车梁，由三块钢板焊接而成，制作比较简便，为当前常用的形式，当吊车轮压值较大时，采用将腹板上部受压区加厚的形式较为经济，但会增加施工的不便。

铆接工字形吊车梁，由钢板和角钢铆合而成，制作费工，耗钢量大，但受力性能可靠。目前仅用于特重级硬钩吊车的大跨度吊车梁上。

工字形吊车梁一般设计成等高度、等截面的形式，根据需要也可设计成变高度（支座处梁高缩小）、变截面的形式。

3.Y形吊车梁是在工字形吊车梁的上翼缘再加两块斜板组成，一般仅设有支承加劲肋而不设或少设中间加劲肋。其优点可改善上翼缘抗偏扭的性能，缺点是安装轨道比较困难，斜板内边无法刷油漆保护。目前使用不普遍。

4.箱形吊车梁是由上、下翼缘板及双腹板组成的封闭箱形截面梁，具有刚度大和抗偏扭性能好的优点，适用于大跨度、大吨位软钩吊车或特重级硬钩吊车，以及抗扭刚度较高（如大跨度壁行吊车梁）的焊接梁。由于制作较复杂、施焊操作条件较差，焊接变形不易控制和校正。

5.吊车桁架为带有组合型钢或焊接工字形劲性上弦的空腹式结构，其用钢量较实腹式结构节约钢材15%～30%，但制作较费工，连接节点处疲劳较敏感，一般适用于跨度 $L \geqslant 18m$，以及起重量 $Q \leqslant 75t$ 的轻、中级工作制或小吨位软钩重级工作制吊车结构。支承夹钳或刚性料耙硬钩吊车以及类似吊车的结构不宜采用吊车桁架。

6.撑杆式吊车桁架可利用钢轨与上弦共同工作组成的吊车桁架，用钢量省，但制作、安装精度要求较高，设计时应注意加强侧向刚度，一般用于手动梁式吊车，起重量 $Q \leqslant 5t$，跨度不大于6m的情况。

7.壁行吊车梁由承受水平荷载的上梁及同时承受水平和竖向荷载的下梁组成分离的型式。分离型较为经济，但必需严格控制上、下梁的相对变形。为了增大刚度亦可将上、下梁组合成箱形梁。

8.悬挂式吊车梁包括悬挂单梁和轨道梁，一般悬挂在屋盖承重结构或其他承重结构上，由单根工字钢承重并兼作电动葫芦或手动吊车的行驶轨道梁，或兼作机械化悬链的行驶轨道梁；在无桥式吊车的厂房中采用比较广泛。

8.3 设计的基本要求

8.3.1 设计的一般规定

1.吊车梁或吊车桁架一般应按两台最大起重量的吊车进行设计。当有可靠根据时，可按工艺提供实际排列的两台起重量不同的较大吊车或可能是一台吊车进行设计。

2.吊车梁或吊车桁架的设计应根据工艺提供的资料指定吊车工作制的要求，目前我国按吊车负荷率与工作时间率分为轻、中、重和特重四个等级（即A1～A3、A4～A5、A6、A7和A8）。一般仅为安装用的吊车属轻级，对金工、焊接等冷加工生产使用的吊车属于中级，而在铸造、冶炼、水压机锻造等热加工生产使用的吊车属于重级，在冶金工厂中支承夹钳、料耙等硬钩的特殊吊车属于特重级。

3.吊车梁或吊车桁架的形式选用应根据吊车的起重量及跨度大小、吊车梁或吊车桁架的跨度以及吊车工作制等确定。对于硬钩特重级吊车应采用吊车梁，重级软钩吊车也宜采用吊车梁（对大跨度而起重量较小的吊车也可采用吊车桁架），但其节点应采用高强度螺栓或铆钉连接。对于重级工作制的吊车梁和吊车桁架均宜设置制动结构。支承夹钳、料耙等硬钩吊车以及类似吊车的结构，不宜采用吊车桁架和制动桁架。

4.重级和特重级工作制吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）与制动结构及柱传递横

向荷载的连接、大跨度梁的现场拼接等，应优先采用高强度螺栓或铆钉连接。

重级和特重级工作制焊接工字形吊车梁的腹板与上翼缘板的连接焊缝，应采用K形剖口，并宜采用自动焊。

5. 当跨度≥24m的大跨度吊车梁或吊车桁架，宜要求制作时按跨度的1/1000起拱；并应按制作、安装、运输等实际条件，划分制作、安装单元。一般宜采用分段制作及运输，在工地拼装成整根吊装，避免高空拼接。

6. 焊接吊车梁的翼缘板宜用一层钢板，当采用两层钢板时，外层钢板宜沿梁通长设置，并应在设计和施工中采取措施使上翼缘两层板紧密接触。

8.3.2　荷载

1. 吊车梁或吊车桁架主要承受吊车的竖向和横向荷载，由工艺设计人员提供吊车起重量及其吊车级别。对于一般吊车的技术规格可按产品标准选用。对于特殊吊车或无产品标准时，可按表8-1的要求，由所订购的起重机械制造厂提供数据。

吊车规格技术资料表　　表8-1

吊车台数	吊车起重量		吊车跨度	工作制级别	极限位置				主要尺寸									重量		轮压		每侧制动轮数	推荐采用的大车轨道
					吊钩至轨道中心距离				吊车轮距			吊车最大宽度	轨道中心至吊车外端距离	轨道顶面至吊车顶端距离	轨道中心至缓冲器距离	轨道中心至操纵室外侧距离	操纵室底面至大梁底面距离	小车重量	吊车总重量	最大轮压	最小轮压		
	主钩	副钩			主钩		副钩																
	Q				L_1	L_2	L_3	L_4	K	K_1	K_2	B	B_1	H	H_1	B_2	h_3	g	G	P_{max}	P_{min}		
	(t)		(m)		(mm)													(t)					

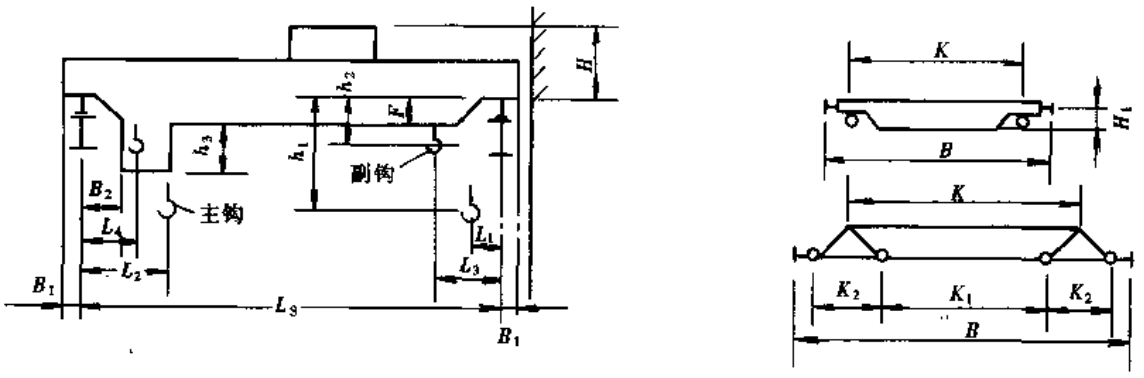


图8-3　吊车的基本尺寸

2. 吊车梁或吊车桁架承受的荷载为：

(1) 吊车的竖向荷载标准值为吊车的最大轮压。

(2) 吊车的横向水平荷载标准值，应取横向小车重量与额定起重量之和的下列百分

数，并乘以重力加速度：

1）对于软钩吊车（下列公式对于重级工作制吊车梁只用于计算挠度）

当额定起重量 $Q \leqslant 10$t 时，

$$H = 0.06\frac{Q+g}{n} \tag{8-1a}$$

当额定起重量 $Q \leqslant 16 \sim 50$t 时，

$$H = 0.05\frac{Q+g}{n} \tag{8-1b}$$

当额定起重量 $Q \geqslant 75$t 时，

$$H = 0.04\frac{Q+g}{n} \tag{8-1c}$$

2）对于硬钩吊车（只用于计算挠度）

$$H = 0.10\frac{Q+g}{n} \tag{8-1d}$$

若同一台吊车在一侧的轮压值不等时，则各轮上的横向水平荷载与竖向荷载成正比，横向水平荷载的作用位置与竖向荷载的作用位置相同，则各轮子上的横向水平荷载 H 值为：

对软钩吊车（对于重级工作制吊车梁只用于计算挠度）

$$H = \eta_c(Q+g)\frac{P_{max}}{\Sigma P_{max}} \tag{8-2a}$$

对硬钩吊车（只用于计算挠度）

$$H = 0.10(Q+g)\frac{P_{max}}{\Sigma P_{max}} \tag{8-2b}$$

式中 H——吊车各轮的横向水平荷载标准值；

Q——吊车起重量；

g——小车重量，当无资料时，软钩吊车可近似地按下述情况确定：

当 $Q \leqslant 50$t 时，$g = 0.4Q$；

当 $Q > 50$t 时，$g = 0.3Q$；

n——吊车一侧的轮数；

P_{max}——作用于某一个吊车轮上的最大轮压标准值；

ΣP_{max}——作用于吊车一侧上的全部最大轮压标准值；

η_c——按公式（8-1）根据不同额定起重量 Q 分别取 0.06、0.05 和 0.04。

3）计算重级工作制吊车梁（或吊车桁架）及制动结构的强度、稳定以及连接（吊车梁或吊车桁架、制动结构、柱相互的连接）的强度时应考虑由吊车摆动引起的横向水平荷载（此水平荷载不与本条 1）、2）的计算值同时考虑），作用于每个轮压处的此水平荷载标准值可由下式进行计算：

$$H_k = \alpha P_{max} \tag{8-3}$$

式中 α——系数，对一般软钩吊车 $\alpha = 0.1$，抓斗或磁盘吊车宜采用 $\alpha = 0.15$，硬钩吊车宜采用 $\alpha = 0.2$。

3. 吊车纵向水平荷载标准值，应按作用在一边轨道上所有刹车轮的最大轮压之和的10%采用；该荷载的作用点位于刹车轮与轨道的接触点，其方向与轨道方向一致，即：

$$H_z = 0.1\Sigma P_{max} \tag{8-4}$$

式中　ΣP_{max}——作用在一侧轨道上，两台超重量最大的吊车所有刹车轮（一般为每台吊车刹车轮的一半）最大轮压之和。

4. 作用在吊车梁或吊车桁架走道板上的活荷载，一般可取 2.0kN/m²；当有积灰荷载时，按实际积灰厚度考虑，一般为 0.3～1.0kN/m²。

5. 计算吊车梁（或吊车桁架）由于竖向荷载产生的弯矩和剪力时，应考虑轨道和它的固定件、吊车制动结构、支撑系统，以及吊车梁（或吊车桁架）的自重等，并近似地简化为将求得的弯矩和剪力值乘以表 8-2 中的 β_w 系数。

系　数 β_w 值　　表 8-2

吊车梁或吊车桁架 / 系数	吊车梁				吊车桁架
	梁跨度（m）				
	6	12	15	≥18	
β_w 值	1.03	1.05	1.06	1.07	1.06

6. 若吊车梁或辅助桁架承受屋盖和墙架传来的荷载，以及在吊车梁上悬挂有其他设备时，其荷载应予叠加。

7. 当吊车梁系统的结构表面长期受辐射热达 150℃以上或在短时间内可能受到高温作用时，一般采用设置金属隔板等措施进行隔热，荷载计算时应予考虑在内。

8. 吊车梁或吊车桁架在受有震动荷载影响时，例如在水爆清砂、脱锭吊车等厂房中，应考虑受震动影响所增加的竖向荷载。

9. 对于露天栈桥的吊车梁，尚应考虑风、雪荷载的影响。

8.3.3　荷载取值

计算吊车梁或吊车桁架的强度、稳定以及连接的强度时，应采用荷载设计值（荷载标准值乘以荷载分项系数 $\gamma_Q = 1.4$），计算疲劳和正常使用状态的变形时，应采用荷载标准值。

8.3.4　吊车的动力系数

当计算吊车梁或吊车桁架及其连接的强度和稳定性时，吊车竖向荷载应乘以动力系数：对悬挂吊车（包括电动葫芦）及工作级别为轻、中级（A1～A5）的软钩吊车，动力系数可取 1.05；对工作级别为重级（A6～A8）的软钩吊车、硬钩吊车和其他特种吊车，动力系数可取为 1.1。计算疲劳和变形时，动力荷载不乘动力系数。

8.3.5　吊车台数的取用

1. 计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳及挠度时，吊车荷载应按作用在跨间内起重量最大的一台吊车确定。吊车轮压按标准值计算。

2. 计算制动结构的强度时：对位于边列柱的吊车梁或吊车桁架，其制动结构应按同跨两台最大吊车所产生的最大横向水平荷载进行计算；对位于中列柱的吊车梁或吊车桁架，其制动结构应按同跨两台最大吊车或相邻跨间各一台最大吊车所产生的最大横向水平荷载，取其两者中的较大者进行计算。对于重级工作制或硬钩吊车时，其横向水平荷载按

公式（8-3）计算。

8.3.6 强度设计值折减系数

计算下列情况的吊车梁系统的结构时，第 2.3.1 条至第 2.3.5 条规定的强度设计值应乘以相应的折减系数。当几种情况同时存在时，其折减系数应连乘。

1. 单面连接的单角钢

（1）按轴心受力计算强度和连接　　0.85；

（2）按轴心受压计算稳定性

等边角钢　　$0.6+0.0015\lambda$，但不大于 1.0；

短边相连的不等边角钢　　$0.5+0.0025\lambda$，但不大于 1.0；

长边相连的不等边角钢　　0.7；

λ 为长细比，对中间无连系的单角钢压杆，按最小回转半径计算，当 $\lambda<20$ 时，取 $\lambda=20$。

等边角钢和短边相连不等边角钢的折减系数亦可按表 8-3 采用。

2. 无垫板的单面施焊对接焊缝　　0.85；

3. 施工条件较差的高空安装焊缝和铆钉连接　　0.90；

4. 沉头和半沉头铆钉连接　　0.80。

轴心受压等边和短边相连不等边角钢的折减系数　　表 8-3

角钢类型 \ 长细比 λ	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
等边角钢	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90
短边相连的不等边角钢	0.75	0.78	0.80	0.83	0.85	0.88	0.90	0.93	0.95	0.98	1.00

8.3.7 疲劳计算

重级工作制吊车梁和重级、中级工作制吊车桁架应按第 3 章第 3 节进行疲劳计算，亦可作为常幅疲劳，按下式计算：

$$\alpha_f \Delta\sigma \leqslant [\Delta\sigma]_{2\times10^6} \tag{8-5}$$

式中 α_f——欠载效应的等效系数，按表 8-4 采用；

$\Delta\sigma$——对焊接部位为应力幅，$\Delta\sigma=\sigma_{max}-\sigma_{min}$；

对非焊接部位为折算应力幅，$\Delta\sigma=\sigma_{max}-0.7\sigma_{min}$；

σ_{max}——计算部位每次应力循环中的最大拉应力（取正值）；

σ_{min}——计算部位每次应力循环中的最小拉应力或压应力（拉应力取正值，压应力取负值）；

$[\Delta\sigma]_{2\times10^6}$——循环次数 n 为 2×10^6 次的容许应力幅，按表 8-5 采用。

吊车梁和吊车桁架欠载效应的等效系数 α_f　　表 8-4

吊车类别	α_f
重级工作制硬钩吊车（如均热炉车间夹钳吊车）	1.0
重级工作制软钩吊车	0.8
中级工作制吊车	0.5

循环次数 $n=2\times10^6$ 次的容许压力幅（N/mm^2）　　表 8-5

构件和连接类别	1	2	3	4	5	6	7	8
$[\Delta\sigma]_{2\times10^6}$	176	144	118	103	90	78	69	59

注：构件和连接类别见表 3-31。

8.3.8　挠度容许值

1. 吊车梁的挠度应按最大的一台吊车的荷载标准值（不考虑动力系数）进行计算，其值不应超过表 8-6 中规定的数值。

吊车梁和吊车桁架的挠度容许值　　表 8-6

构件类别	容许挠度值	构件类别	容许挠度值
手动或电动葫芦的轨道梁	$l/400$	中级工作制桥式吊车	$l/1000$
手动吊车和单梁吊车（包括悬挂吊车）	$l/500$	重级工作制桥式吊车	$l/1200$
轻级工作制桥式吊车	$l/800$		

注：l——吊车梁或吊车桁架的跨度（对悬臂梁和伸臂梁为悬伸长度的 2 倍）。

2. 冶金工厂或类似车间中设有工作级别为重级、特重级（A7、A8）吊车的厂房中，其跨间每侧吊车梁或吊车桁架的制动结构，由一台最大吊车横向水平荷载按公式（8-1a ~ 8-1d）取值所产生的挠度不宜超过制动结构跨度的 1/2200。

8.4　实腹式焊接吊车梁

8.4.1　内力计算

1. 计算吊车梁的内力时，由于吊车荷载为动力荷载，首先应确定求各内力所需吊车荷载的最不利位置，再按此求梁的最大弯矩及其相应的剪力、支座最大剪力，以及横向水平荷载作用下在水平方向所产生的最大弯矩 M_T（当为制动梁时）或在吊车梁上翼缘所产生的局部弯矩 M_H（当为制动桁架时）。

2. 常用简支吊车梁，当吊车荷载作用时，其最不利的荷载位置、最大弯矩和剪力，可按下列情况确定：

（1）两个轮子作用于梁上时（图 8-4）：

最大弯矩点（C 点）的位置为：

$$a_2=\frac{a_1}{4}$$

最大弯矩为：

$$M^c_{max}=\frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2}-a_2\right)^2}{l} \tag{8-6}$$

最大弯矩处的相应剪力为：

$$V^c=\frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2}-a_2\right)}{l} \tag{8-7}$$

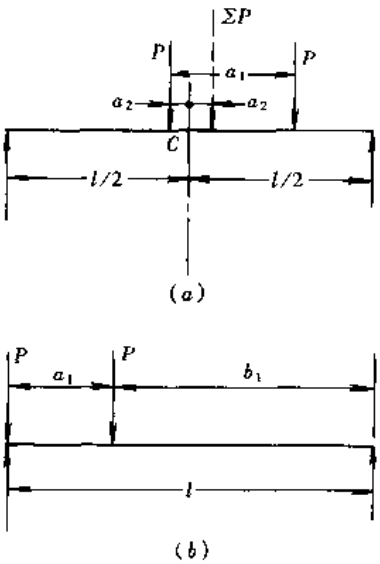


图 8-4 吊车梁计算简图（二轮）
（a）弯矩；（b）剪力

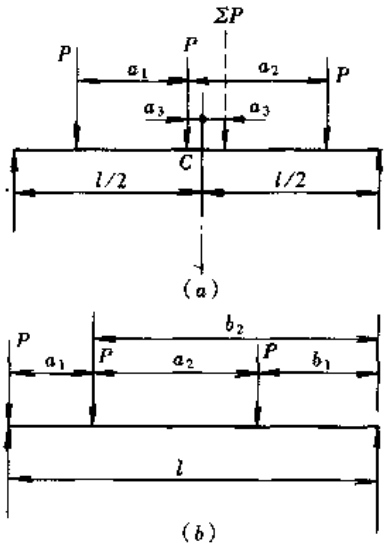


图 8-5 吊车梁计算简图（三轮）
（a）弯矩；（b）剪力

（2）三个轮子作用于梁上时（图 8-5）：

最大弯矩点（C 点）的位置为：

$$a_3 = \frac{a_2 - a_1}{6}$$

最大弯矩为：

$$M_{max}^{c} = \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_3\right)^2}{l} - Pa_1 \tag{8-8}$$

最大弯矩处的相应剪力为：

$$V^{c} = \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_3\right)}{l} - P \tag{8-9}$$

（3）四个轮子作用于梁上时（图 8-6）：

最大弯矩点（C 点）的位置为：

$$a_4 = \frac{2a_2 + a_3 - a_1}{8}$$

最大弯矩为：

$$M_{max}^{c} = \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_4\right)^2}{l} - Pa_1 \tag{8-10}$$

最大弯矩处的相应剪力为：

$$V^{c} = \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_4\right)}{l} - P \tag{8-11}$$

当 $a_3 = a_1$ 时　　$a_4 = \frac{a_2}{4}$

最大弯矩 M_{max}^{c}及其相应的剪力 V^{c} 均与公式（8-10）及公式（8-11）相同，但公式中的 a_4 应用$\frac{a_2}{4}$代入。

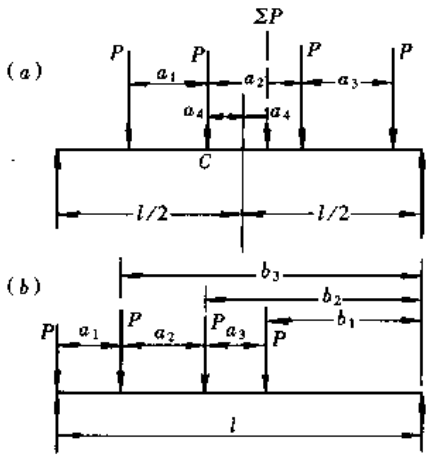


图 8-6　吊车梁计算简图（四轮）
（a）弯矩；（b）剪力

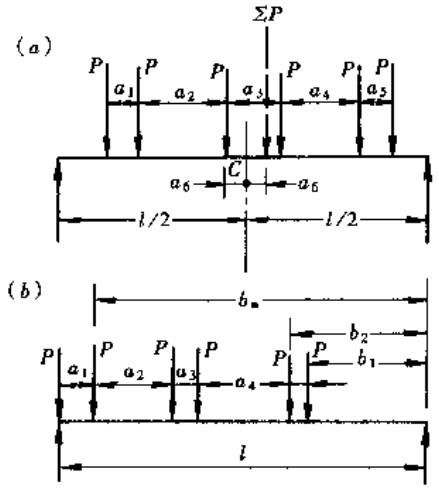


图 8-7　吊车梁计算简图（六轮）
（a）弯矩；（b）剪力

（4）六个轮子作用于梁上时（图 8-7）：

最大弯矩点（C 点）的位置为：

$$a_6 = \frac{3a_3 + 2a_4 + a_5 - a_1 - 2a_2}{12}$$

最大弯矩为：

$$M_{max}^{c} = \Sigma P \frac{\left(\frac{l}{2} - a_6\right)^2}{l} - P(a_1 + 2a_2) \tag{8-12}$$

最大弯矩处的相应剪力为：

$$V^{c} = \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_6\right)}{l} - 2P \tag{8-13}$$

当 $a_3 = a_5 = a_1$ 及 $a_4 = a_2$ 时，最大弯矩点（C 点）的位置为：

$$a_6 = \frac{a_1}{4}$$

其最大弯矩 M_{max}^{c}及相应的剪力 V^{c} 均与公式（8-12）及公式（8-13）相同，但公式中的 a_6 应用$\frac{a_1}{4}$代入。

（5）最大剪力应在梁端支座处。因此，吊车竖向荷载应尽可能靠近该支座布置（图 8-4*b* 至图 8-7*b*），并按下式计算支座最大剪力：

$$V_{max}^{c} = \sum_{i=1}^{n-1} b_i \frac{P}{l} + P \tag{8-14}$$

式中　n——作用于梁上的吊车竖向荷载数。

选择吊车梁截面时所用的最大弯矩和支座最大剪力，可由吊车竖向荷载作用下所产生的最大弯矩 M_{max}^{c}和支座最大剪力 V_{max}^{c}乘以表 8-2 的 β_w（β_w 为考虑吊车梁等自重的影响系

数）值，即：

$$M_{max} = \beta_w M^c_{max} \tag{8-15}$$

$$V_{max} = \beta_w V^c_{max} \tag{8-16}$$

3. 吊车横向水平荷载作用下，在水平方向所产生的最大弯矩 M_H，可分别按下列情况确定：

（1）吊车横向水平荷载作用下对制动梁在水平方向产生的最大弯矩 M_H，可根据图8-4（a）至图 8-7（a）所示荷载位置采用下列公式计算：

当为轻、中级工作制（A1～A5）吊车梁的制动梁时，

$$M_H = \frac{H}{P} M^c_{max} \tag{8-17}$$

当为重级或特重级工作制（A6～A8）吊车梁的制动梁时，

$$M_H = \frac{H_K}{P} M^c_{max} \tag{8-18}$$

（2）吊车横向水平荷载作用下制动桁架在吊车梁上翼缘所产生的局部弯矩 M'_H，可近似地按下列公式计算（图 8-8）：

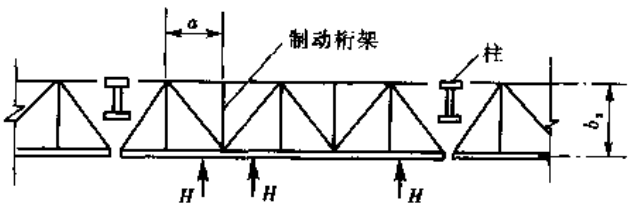


图 8-8 吊车横向水平荷载作用于吊车梁上翼缘和制动桁架示意图

当为起重量 $Q \geqslant 75$t 的轻、中级工作制吊车的制动桁架时，

$$M'_H = \frac{Ha}{3} \tag{8-19}$$

当为起重量 $Q \geqslant 75$t 的重级工作制（特重级不受起重量限制）吊车的制动桁架时，

$$M'_H = \frac{H_K a}{3} \tag{8-20}$$

当为起重量 $Q \leqslant 50$t 的轻、中级工作制吊车的制动桁架时，

$$M'_H = \frac{Ha}{4} \tag{8-21}$$

当为起重量 $Q \leqslant 50$t 的重级或特重级工作制吊车的制动桁架时，

$$M'_H = \frac{H_K a}{4} \tag{8-22}$$

8.4.2 截面选择

1. 焊接工字形吊车梁一般由上下翼缘板及腹板焊成，通常设计成沿梁全长截面不变的一层翼缘板梁。必须采用两层钢板时，外层钢板宜沿梁通长设置，并应要求施工时采取措施使上翼缘两层钢板紧密接触。

当相邻两跨吊车梁的跨度不等且相差较大时，为使柱阶处两分肢顶面的标高相同，可将跨度较大的梁做成高度不等的梁（即在支座处将梁高度取与相邻较小跨度梁的高度相等），见图 8-9。

要求梁的颈部有较强的抗偏扭性能时，可采用上下腹板变厚度的形式，或腹板等厚但增加二块斜板做成 Y 形截面的梁（见图 8-2c）。

2. 简支等截面焊接工字形吊车梁的腹板高度可根据经济高度、容许挠度值及建筑净

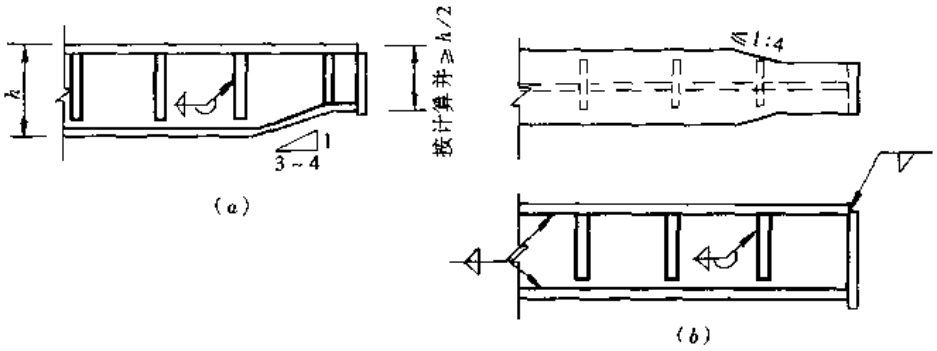


图 8-9　焊接实腹式吊车梁的截面变化示意图

（a）改变梁的高度；（b）改变梁的翼缘宽度

空条件来确定：

（1）经济高度 h_{ec}（mm）要求：

$$h_{ec} \approx 7\sqrt[3]{W} - 300\text{mm} \tag{8-23}$$

式中　W——梁的毛截面模量（mm^3），$W = \dfrac{1.2M_{max}}{f}$，其中 f 为钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值（N/mm^2）。

（2）按容许挠度值要求：

$$h_{min} = 0.6fl\left(\frac{l}{[v]}\right) \times 10^{-6} \tag{8-24}$$

式中　$\dfrac{l}{[v]}$——相对容许挠度值的倒数，以 mm 计。

（3）建筑净空条件许可时的最大高度为 h_{max}，选用梁的高度 h 应满足以下要求：

$$h_{max} \geqslant h \geqslant h_{min}$$

梁高 h 值应接近于经济高度 $h \approx h_{ec}$。

3. 吊车梁腹板厚度 t_w（mm）按下列公式确定：

（1）按经验公式计算：

$$t_w = \frac{1}{3.5}\sqrt{h_0} \tag{8-25}$$

（2）按剪力确定：

$$t_w = \frac{1.2V_{max}}{h_0 f_v} \tag{8-26}$$

腹板厚度 t_w 宜按上述公式计算所得的最大者取值，且不宜小于 8mm；或按下表 8-7 选用。

简支吊车梁腹板厚度经验参考数值　　表 8-7

梁高 h（mm）	600～1000	1200～1600	1800～2400	2600～3600	4000～5000
腹板厚度 t_w（mm）	8～10	10～14	14～16	16～18	20～22

腹板按局部稳定要求，其高厚比 h_0/t_w 应符合表 3-11 的规定。

4. 吊车梁翼缘尺寸（图 8-10）可近似地按下式计算：

$$A_1 = bt - \frac{W}{h_0} - \frac{1}{6}h_0 t_w \qquad (8\text{-}27)$$

式中 W——见公式（8-23），其中

$b \approx \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}\right) h_0$，但应大于 200mm。

受压翼缘自由外伸宽度 b_1 与其厚度 t 之比应满足下列要求：

当为 Q235 钢时，$b_1 \leqslant 15t$

当为 Q345 钢时，$b_1 \leqslant 12.4t$

当为 Q390 钢时，$b_1 \leqslant 11.6t$

当为 Q420 钢时，$b_1 \leqslant 11.2t$

当为其他钢时，$b_1 \leqslant 15t\sqrt{\frac{235}{f_y}}$，$f_y$ 为钢材屈服点（N/mm^2）

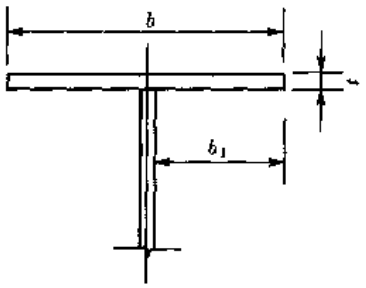


图 8-10 吊车梁受压翼缘的截面示意图

如果上翼缘板必须采用两层时，外层板与内层板厚度之比宜为 0.5～1.0，并沿梁通长设置。

受压翼缘的宽度尚应考虑固定轨道所需的构造尺寸要求，同时要满足连接制动结构所需的尺寸。必要时上翼缘两侧亦可作成不等宽度。

8.4.3 强度计算

1. 吊车梁应按下列规定计算最大弯矩处或变截面处截面的正应力：

（1）上翼缘的正应力计算：

当无制动结构时，

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^{上}} + \frac{M_H}{W_{ny}} \leqslant f \qquad (8\text{-}28)$$

当制动结构为制动梁时，

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^{上}} + \frac{M_H}{W_{ny_1}} \leqslant f \qquad (8\text{-}29)$$

当制动结构为制动桁架时，

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^{上}} + \frac{M'_H}{W_{ny}} + \frac{N_H}{A_n} \leqslant f \qquad (8\text{-}30)$$

下翼缘的正应力计算：

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^{下}} \leqslant f \qquad (8\text{-}31)$$

式中 $W_{nx}^{上}$、$W_{nx}^{下}$——梁截面对 x 轴的上部和下部纤维的净截面模量；

W_{ny}——上翼缘截面对 y 轴的净截面模量；

W_{ny_1}——制动梁截面（包括吊车梁上翼缘截面）对 y_1 轴的净截面模量；

N_H——吊车梁上翼缘作为制动桁架的弦杆，在吊车横向水平荷载作用下所产生的内力（$N_H = \frac{M_H}{b_z}$，b_z 见图 8-8）

A_n——吊车梁上翼缘的净截面面积；

f——钢材的抗压强度设计值。

2. 吊车梁支座处截面的剪应力，应按下列公式计算：

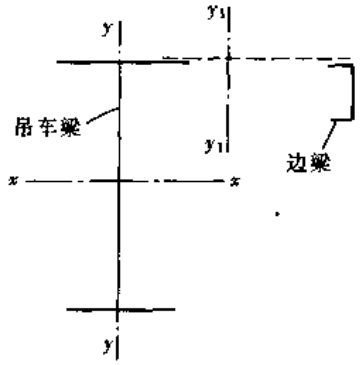


图 8-11　吊车梁系统结构的截面

当为平板式支座时，按公式（3-3）计算，即

$$\tau = \frac{V_{max} S}{I t_w} \leqslant f_v$$

当为突缘支座时，

$$\tau = \frac{1.2 V_{max}}{h_0 t_w} \leqslant f_v \tag{8-32}$$

式中　S——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；

I——毛截面惯性矩；

t_w——腹板厚度；

f_v——钢材的抗剪强度设计值。

3. 腹板局部压应力按公式（3-4）计算，即

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_z} \leqslant f$$

式中　F——集中荷载即吊车轮压 P 值，应考虑动力系数；

ψ——集中荷载增大系数：对重级工作制吊车梁，$\psi = 1.35$；对其他梁，$\psi = 1.0$；

l_z——集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度（图 8-12），可按下式计算：

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R$$

a——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度，对钢轨上的轮压可取为 50mm；

h_y——自吊车梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离；

h_R——轨道的高度。

在梁的支座处，当不设置支承加劲肋时，也应按公式（3-4）计算腹板计算高度下边缘的局部压应力，但 ψ 取 1.0。支座集中反力的假定分布长度，应根据支座具体尺寸按 l_z 的计算公式计算，并取 $h_R = 0$。

注：腹板的计算高度 h_0：对轧制型钢梁，为腹板与上、下翼缘相接处两内弧起点间的距离；对焊接组合梁，为腹板高度；对铆接（或高强度螺栓连接）组合梁，为上、下翼缘与腹板连接的铆钉（或高强度螺栓）线间最近距离（见图 8-21）。

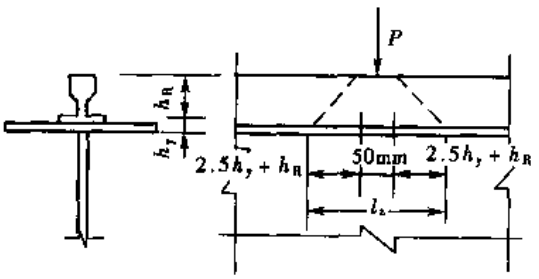


图 8-12　吊车轮压分布长度

4. 在组合梁的腹板计算高度边缘处，若同时受有较大的正应力、剪应力和局部压应力，或同时受有较大的正应力和剪应力（如连续梁中部支座处或梁的翼缘截面改变处等），其折算应力应按公式（3-5）计算，即

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leqslant \beta_1 f$$

式中　σ、τ、σ_c——吊车梁腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力。σ_c 应按公式（3-4）计算，τ 可按公式（3-3）计算，σ 应按下式计算：

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y$$

σ 和 σ_c 以拉应力为正值，压应力为负值；

I_u——梁净截面惯性矩；

y——计算点至梁中和轴的距离；

β_1——计算折算应力的强度设计值增大系数：当 σ 与 σ_c 异号时，取 $\beta_1 = 1.2$；当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c = 0$ 时，取 $\beta_1 = 1.1$。

5. 重级及特重级工作制（A6～A8 级）焊接工字形梁，应按第 8.3.7 条的规定进行疲劳计算。重点应验算受拉翼缘上虚孔处、横向加劲肋焊缝端部处以及翼缘连接焊缝附近处的主体金属疲劳强度。

8.4.4 稳定计算

1. 吊车梁的整体稳定应按下式计算：

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leqslant f \tag{8-33}$$

式中 M_x、M_y——绕强轴和弱轴作用的最大弯矩；

W_x、W_y——按受压纤维确定的对强轴和对弱轴毛截面模量；

φ_b——梁的整体稳定系数，按表 3-4 中公式（3-8）计算。

2. 当符合下列情况之一时，可不计算梁的整体稳定：

（1）设有制动结构时。

（2）对无制动结构的 H 型钢或工字形截面简支吊车梁，当受压翼缘的自由长度 l_1 与其宽度 b_1 之比不超过以下限值时：

1）Q235 钢 $\dfrac{l_1}{b_1} \leqslant 13$

2）Q345 钢 $\dfrac{l_1}{b_1} \leqslant 10.5$

3）Q390 钢 $\dfrac{l_1}{b_1} \leqslant 10$

4）Q420 钢 $\dfrac{l_1}{b_1} \leqslant 9.5$

5）其他钢的 $\dfrac{l_1}{b_1}$ 值，应取 Q235 钢的数值乘以 $\sqrt{235/f_y}$。

3. 梁的支座处，应采取构造措施以防止梁端截面的扭转。

4. 为保证焊接工字形吊车梁腹板的局部稳定，应按下述规定在腹板上配置加劲肋并按 8.4.4 第 5～9 条的规定计算腹板稳定。应注意对轻中级工作制吊车梁在计算腹板的局部稳定时，吊车轮压设计值可乘以折减系数 0.9。

（1）在下列腹板高厚比值范围以内的宜按构造配置横向加劲肋；

对 Q235 钢 当 $h_0/t_w \leqslant 80$；

对 Q345 钢 当 $h_0/t_w \leqslant 66$；

对 Q390 钢 当 $h_0/t_w \leqslant 62$；

对 Q420 钢 当 $h_0/t_w \leqslant 60$。

对其他钢，当 $h_0/t_w \leqslant 80\sqrt{235/f_y}$。

（2）当腹板高厚比超过上条规定数值时，应配置横向加劲肋，并应验算腹板稳定性。

（3）当腹板高厚比超过以下数值时，应配置横向加劲肋；当按计算需要时，应在弯曲应力较大区格的受压区增加配置纵向加劲肋；对局部压应力很大的梁，必要时尚宜在受压区配置短加劲肋。

1）受压翼缘扭转受到约束，如有制动结构时：

对 Q235 钢　当 $h_0/t_w > 170$；

对 Q345 钢　当 $h_0/t_w > 140$；

对 Q390 钢　当 $h_0/t_w > 132$；

对 Q420 钢　当 $h_0/t_w > 127$。

2）受压翼缘扭转未受到约束时：

对 Q235 钢　当 $h_0/t_w > 150$；

对 Q345 钢　当 $h_0/t_w > 124$；

对 Q390 钢　当 $h_0/t_w > 116$；

对 Q420 钢　当 $h_0/t_w > 112$。

（4）在任何情况下腹板高厚比均不宜超过下列数值。

对 Q235 钢　当 $h_0/t_w \leqslant 250$；

对 Q345 钢　当 $h_0/t_w \leqslant 206$；

对 Q390 钢　当 $h_0/t_w \leqslant 194$；

对 Q420 钢　当 $h_0/t_w \leqslant 187$。

以上 h_0 为腹板的计算高度，t_w 为腹板的厚度。若为单轴对称梁，对 1）款中的 h_0 应取腹板受压区高度 h_c 的 2 倍。

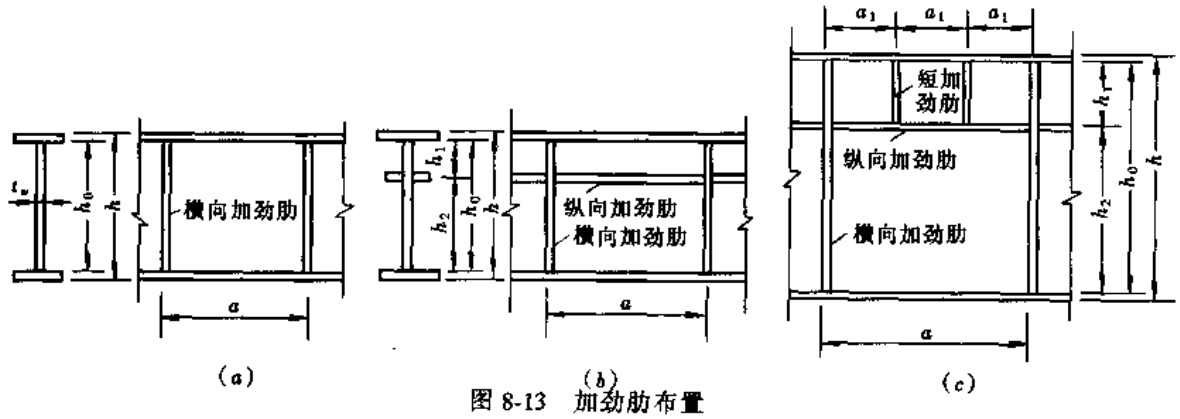


图 8-13　加劲肋布置

5. 吊车梁配置有横向加劲肋的腹板（图 8-13a），其各区格的局部稳定应按表 3-12 中公式（3-16）计算。即

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 + \frac{\sigma_c}{\sigma_{c,cr}} \leqslant 1$$

式中　σ——所计算腹板区格内，由平均弯矩产生的腹板计算高度边缘的弯曲压应力 $\sigma = \left(\frac{Mh_c}{I}\right)$；

τ——所计算腹板区格内，由平均剪力产生的腹板平均剪应力，$\tau = \dfrac{V}{h_w t_w}$；

σ_c——腹板边缘的局部压应力，$\sigma_c = \dfrac{F}{t_w l_z}$；

σ_{cr}、τ_{cr}和$\sigma_{c,cr}$为各种应力单独作用下的临界应力，按下列方法计算：

(1) σ_{cr}按表 3-12 中公式（3-17a）、（3-17b）、（3-17c）及公式（3-17d）、（3-17e）计算。即

当 $\lambda_b \leqslant 0.85$ 时

$$\sigma_{cr} = f$$

当 $0.85 < \lambda_b \leqslant 1.25$ 时

$$\sigma_{cr} = [1 - 0.75(\lambda_b - 0.85)]f$$

当 $\lambda_b > 1.25$ 时

$$\sigma_{cr} = 1.1f/\lambda_b^2$$

式中 λ_b——用于腹板受弯计算时的通用高厚比；

梁受压翼缘扭转受到约束（如有刚性铺板、制动结构连牢或焊有钢轨）时，

$$\lambda_b = \frac{C_f 2h_c/t_w}{177}$$

式中 $C_f = \sqrt{f_y/235}$（下同）

梁受压翼缘扭转未受到约束时，

$$\lambda_b = \frac{C_f 2h_c/t_w}{153}$$

h_c——梁腹板弯曲受压区高度，对双轴对称截面 $2h_c = h_0$。

(2) τ_{cr}按表 3-12 中，公式（3-18a）、（3-18b）、（3-18c）及公式（3-18d）、（3-18e）计算。即

当 $\lambda_s \leqslant 0.8$ 时

$$\tau_{cr} = f_v$$

当 $0.8 < \lambda_s \leqslant 1.2$ 时

$$\tau_{cr} = [1 - 0.59(\lambda_s - 0.8)]f_v$$

当 $\lambda_s > 1.2$ 时

$$\tau_{cr} = 1.1f/\lambda_s^2$$

式中 λ_s——用于腹板受剪时的通用高厚比：

当 $a/h_0 \leqslant 1.0$ 时

$$\lambda_s = \frac{C_f h_0/t_w}{41\sqrt{4 + 5.34(h_0/a)^2}}$$

当 $a/h_0 > 1.0$ 时

$$\lambda_s = \frac{C_f h_0/t_w}{41\sqrt{5.34 + 4(h_0/a)^2}}$$

(3) $\sigma_{c,cr}$按表 3-12，公式（3-19a）、（3-19b）、（3-19c）及公式（3-19d）、（3-19e）计算。即

当 $\lambda_c \leqslant 0.9$ 时

$$\sigma_{c,cr} = f$$

当 $0.9 < \lambda_c \leqslant 1.2$ 时

$$\sigma_{c,cr} = [1 - 0.79(\lambda_c - 0.9)]f$$

当 $\lambda_c > 1.2$ 时

$$\sigma_{c,cr} = 1.1f/\lambda_c^2$$

式中　λ_c——用于腹板抗局部压力计算时的通用高厚比：

当 $0.5 \leqslant a/h_0 \leqslant 1.5$ 时

$$\lambda_c = \frac{C_f h_0/t_w}{28\sqrt{10.9 + 13.4(1.83 - a/h_0)^3}}$$

当 $1.5 < a/h_0 \leqslant 2.0$ 时

$$\lambda_c = \frac{C_f h_0/t_w}{28\sqrt{18.9 + 5a/h_0}}$$

上式中　C_f 值当 Q235 钢时　$C_f = 1.0$

当 Q345 钢时　$C_f = 1.21$

当 Q390 钢时　$C_f = 1.29$

当 Q420 钢时　$C_f = 1.34$

当其他钢号时　$C_f = \sqrt{\frac{f_y}{235}}$

6. 同时用横向加劲肋和纵向加劲肋加强的腹板（图 8-13*b*），其局部稳定性应按下列公式计算：

（1）受压翼缘与纵向加劲肋之间的区格按表 3-13 中公式（3-20）计算。即

$$\frac{\sigma}{\sigma_{crl}} + \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{c,crl}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{crl}}\right)^2 \leqslant 1.0$$

式中　σ_{crl}、$\sigma_{c,crl}$、τ_{crl} 分别按下列公式计算：

1）σ_{crl} 按公式（3-17）及公式（3-21*a*）、（3-21*b*）计算，但式中的 λ_b 改用下列 λ_{bl} 代替。

A. 梁受压翼缘扭转受到约束时，$\lambda_{bl} = \frac{C_f h_1/t_w}{75}$

B. 梁受压翼缘扭转未受到约束时，$\lambda_{bl} = \frac{C_f h_1/t_w}{64}$

2）τ_{crl} 按公式（3-18）计算，将式中的 h_0 改为 h_1。h_1 为纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离（图 8-13*b*，*c*）。

3）σ_{ccrl} 亦按公式（3-17）、（3-22*a*）、（3-22*b*）计算，但式中的 λ_b 改用下列 λ_{cl} 代替：

梁受压翼缘扭转受到约束时，$\lambda_{cl} = \frac{C_f h_1/t_w}{56}$

梁受压翼缘扭转未受到约束时，$\lambda_{cl} = \frac{C_f h_1/t_w}{40}$

（2）受拉翼缘与纵向加劲肋之间的区格按表 3-13 中公式（3-23）计算。即

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}}\right)^2+\frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c,cr2}}+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr2}}\right)^2\leqslant 1.0$$

式中 σ_2——所计算区格内腹板压纵向加劲肋处压应力的平均值；

σ_{c2}——腹板在纵向加劲肋处的横向压应力，取为 $0.3\sigma_c$；

1）σ_{cr2}按公式（3-17）计算，但式中的 λ_b 改为 λ_{b2}代替，λ_{b2}以公式（3-24）计算，即

$$\lambda_{b2}=\frac{C_f h_2/t_w}{194}$$

2）τ_{cr2}按公式（3-18）计算，将式中的 h_0 改为 h_2（$h_2=h_0-h_1$）。

3）σ_{ccr2}按公式（3-19）计算，但式中的 h_0 改为 h_2。

当 $a/h_2>2$ 时，取 $a/h_2=2$。

7. 在受压翼缘与纵向加劲肋之间设有短加劲肋的区格，其局部稳定性按公式（3-20）计算，该式中的 σ_{cr1}仍按公式（3-17）计算：τ_{cr1}按公式（3-18）计算，但将 h_0 和 a 改为 h_1 和 a_1（a_1 为短加劲肋间距）；σ_{ccr1}按公式（3-17）计算，但式中 λ_b 改用下列 λ_{c1}代替。

对 $a_1/h_1\leqslant 1.2$ 的区格按公式（3-25a），（3-25b）计算，即

当梁受压翼扭转受到约束时，$\lambda_{c1}=\dfrac{C_f a_1/t_w}{87}$

当梁受压翼缘扭转未受到约束时，$\lambda_{c1}=\dfrac{C_f a_1/t_w}{73}$

对 $a_1/h_1>1.2$ 的区格则公式（3-25a）（3-25b）右侧应乘以 $1\Big/\left(0.4+0.5\dfrac{a_1}{h_1}\right)^{1/2}$

8. 腹板高度变化的吊车梁宜按下列情况计算各区格的腹板局部稳定性：

（1）腹板仅用横向加劲肋加强时：

1）端部变高度截面区段内应按第 8.4.4 条 5 中的公式（3-16）计算。但腹板剪力 V 应采用最大平均剪应力，按 $\tau=\dfrac{V_{max}}{h'_0 t_w}$计算，其中 h'_0 为梁端部腹板的计算高度（图 8-14），计算 τ_{cr}中的 λ_s 和 $\sigma_{c,cr}$中的 λ_c 时 h_0 值均用$\dfrac{h_0+h'_0}{2}$代之。

2）不变截面区段内应按公式（3-16）及相应的 λ_b、λ_s 及 λ_c 进行计算。但腹板剪应力取两区段交界处的腹板平均应力，即 $\tau=\dfrac{V_1}{h_0 t_w}$，$V_1$ 为区段交界处的剪力。

（2）腹板同时用横向加劲肋和纵向加劲肋加强时，纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离 h_1（图 8-14），应在 $h_0/3\sim h_0/4$ 的范围内：

1）纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离 h_1（图 8-14）间的腹板稳定计算，按 8.4.4 第 6 条（1）款计算。

2）受拉翼缘与纵向加劲肋之间的区格

A. 端部变高度截面区段内按 8.4.4 第 6 条第（2）款公式（3-23）及相应的规定确定 σ_{cr2}、τ_{cr2}及 σ_{ccr2}，但腹板剪力 V 应采用最大平均剪应力，按 $\tau=\dfrac{V_{max}}{h'_2 t_w}$（式中 $h'_2=h'_0-h_1$）计算，计算 τ_{cr2}按 8.4.4 第 6（2）款要求计算，将式中 h_2 改为$\dfrac{h_2+h'_2}{2}$代入，第 6.1），

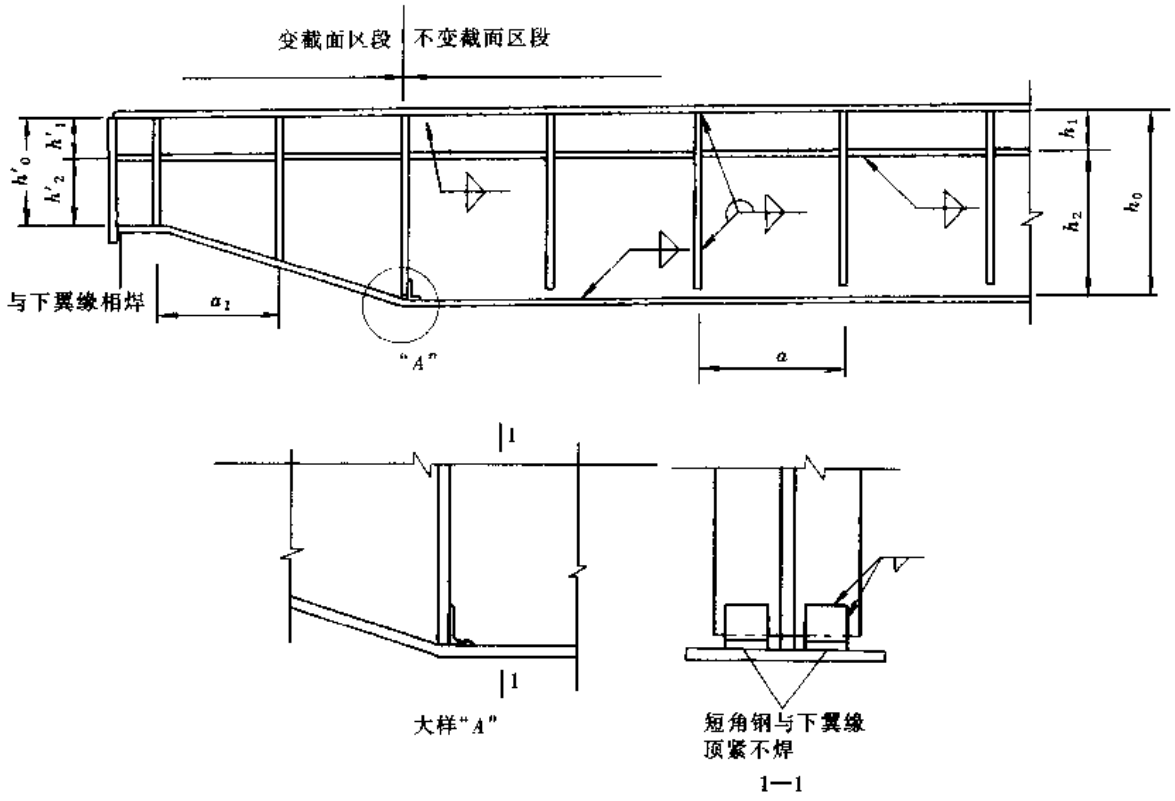


图 8-14　腹板高度变化的吊车梁加劲肋布置

6.3）款中 $\lambda_{b2}=\dfrac{C_f\dfrac{(h_2+h'_2)}{2}/t_w}{194}\sigma_{ccr2}$ 公式中 h_0 改为 $\dfrac{h_2+h'_2}{2}$。

B. 不变截面区段内应按 8.4.4 第 6 条第（2）款公式（3-23）及相应的规定确定 σ_{cr2}、τ_{cr2} 及 σ_{ccr2}，但腹板剪应力取两区段交界处的腹板平均应力，即 $\tau=\dfrac{V_1}{h_2t_w}$，V_1 为区段交界处的剪力。及 h_0 均改用 h_2 代入。

9. 翼缘截面变化的吊车梁应按下列情况计算各区格的腹板局部稳定性：

（1）腹板仅用横向加劲肋加强时：

1）端部变翼缘截面区段内应按 8.4.4 第 5 条进行计算，但 σ 取变截面处腹板计算高度边缘的弯曲压应力。

2）不变截面区段内亦应按 8.4.4 第 5 条进行计算，但 τ 取变截面处的腹板平均剪应力，即 $\tau=\dfrac{V_1}{h_0t_w}$。

（2）腹板同时用横向加劲肋和纵向加劲肋加强时：

纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离 h_1，按 8.4.4 第 6 条第（1）款规定计算。

在吊车梁的全部长度内受拉翼缘与纵向加劲肋之间的区格应按 8.4.4 第 6 条第（2）款规定计算。变截面处至梁端的区格之 τ 取梁端部腹板最大平均剪应力，即 $\tau=\dfrac{V_{max}}{h_0t_w}$。

10. 加劲肋宜在腹板两侧成对配置，也可单侧配置，或两侧错间设施、但支承加劲肋

和重级工作制吊车梁的加劲肋不应单侧配置。

横向加劲肋的最小间距为 $0.5h_0$，最大间距为 $2h_0$。其上端应与上翼缘板刨平顶紧。

在腹板两侧成对配置的横向加劲肋，截面尺寸应按表 3-14 中公式（3-26）、（3-27）确定

外伸宽度，

$$b_s \geqslant \frac{h_0}{30} + 40\text{mm}(\text{且宜} \geqslant 90\text{mm}) \tag{3-26a}$$

厚度，

$$t_s \geqslant \frac{b_s}{15} \quad (\text{且宜} \geqslant 6\text{mm}) \tag{3-27a}$$

在腹板一侧配置的横向加劲肋，其外伸宽度应按表 3-14 中公式（3-26b）确定。即

$$b_s \geqslant 1.2\left(\frac{h_0}{30} + 40\text{mm}\right)$$

厚度应不小于按公式（3-27a）求得 b_s 的 1/15，且宜等于或大于 6mm。

在同时用横向加劲肋和纵向加劲肋加强的腹板中，横向加劲肋的截面尺寸除应符合上述规定外，其截面惯性矩 I_z 尚应满足表 3-14 中公式（3-29）的要求。即

$$I_z \geqslant 3h_0 t_w^3$$

纵向加劲肋的截面惯性矩 I_y，应满足表 3-14 中公式（3-30a）（3-30b）的要求。即

当 $\frac{a}{h_0} \leqslant 0.85$ 时，

$$I_y \geqslant 1.5h_0 t_w^3 \tag{3-30a}$$

当 $\frac{a}{h_0} > 0.85$ 时，

$$I_y \geqslant \left(2.5 - 0.45\frac{a}{h_0}\right)\left(\frac{a}{h_0}\right)^2 t_w^3 \tag{3-30b}$$

在计算惯性矩 I_z、I_y 时，在腹板两侧成对配置的加劲肋，其截面惯性矩应按梁腹板中心线计算；在腹板一侧配置的加劲肋，其截面惯性矩应按与加劲肋相连的腹板边缘为轴线计算。

短加劲肋的最小间距为 $0.75h_1$。短加劲肋外伸宽度应取为横向加劲肋外伸宽度的 0.7～1.0 倍，其厚度不应小于短加劲肋外伸宽度的 1/15。

上列公式求得的加劲肋截面均为钢板截两尺寸，如采用型钢（工字钢、槽钢，肢尖焊于腹板的角钢）作为的加劲肋，其截面惯性矩不得小于相应钢板加劲肋的惯性矩。

11. 支座加劲肋可分为平板式支座加劲肋和突缘支座加劲肋两种。

平板式支座加劲肋（图 8-15a）两端均应刨平，并与上、下翼缘板顶紧以传递梁的支座反力。

突缘支座加劲肋（图 8-15b）除伸缩缝处和封闭轴线厂房端部柱处不能采用此种形式外，其他均可采用；其下端应刨平与柱顶紧并以端面承压传递梁的反力；此种形式对柱平面外的偏心较小，工程上使用较为广泛。

12. 吊车梁支座加劲肋在腹板平面外的稳定性和端面承压应力应按下列要求计算：

（1）吊车梁的支座加劲肋在腹板平面外的稳定计算：

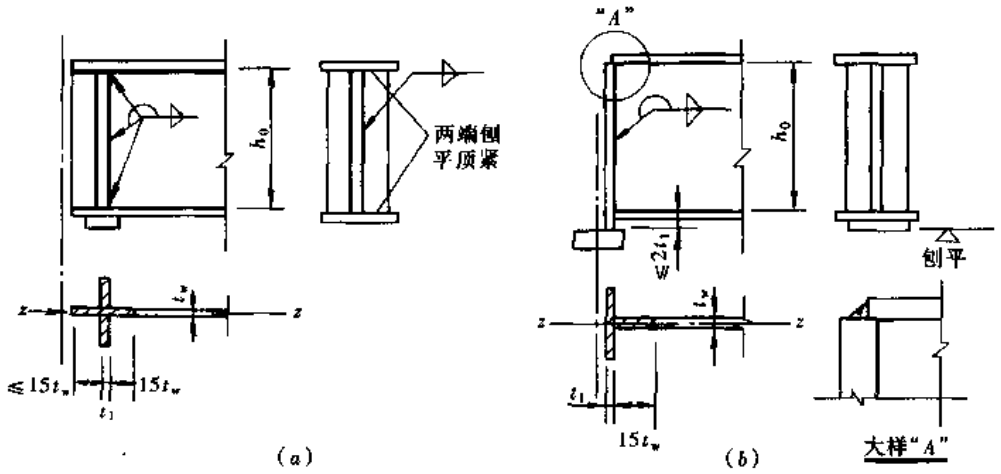


图 8-15　支座加劲肋

（a）平板式支座；（b）突缘支座

$$\frac{R_{max}}{\varphi A} \leqslant f \tag{8-34}$$

式中　R_{max}——支座最大反力；

A——将支座加劲肋视为轴心受压构件时的计算面积，包括支座加劲肋和加劲肋两侧或一侧 $15t_w\sqrt{235/f_y}$ 范围内的腹板面积（图 8-15）；

φ——由长细比 $\lambda_z = \dfrac{h_0}{i_z}$ 决定的轴心受压构件稳定系数，按表 14-3、表 14-7 或表 14-10 采用。

（2）支座加劲肋端部的端面承压应力计算：

$$\sigma_{ce} = \frac{R_{max}}{A_{ce}} \leqslant f_{ce} \tag{8-35}$$

式中　A_{ce}——端面承压面积，即支座加劲肋与下翼缘或柱肩梁顶面接触处的净面积。

对突缘支座以公式（8-35）计算端面承压应力时，必须注意伸出端长度不应大于 2 倍加劲肋厚度。

8.4.5　挠度计算

吊车梁的竖向挠度 v 可近似地按下列公式计算：

（1）等截面简支梁：

$$v = \frac{M_x l^2}{10EI_x} \leqslant [v] \tag{8-36}$$

（2）翼缘截面变化的简支梁：

$$v = \frac{M_x l^2}{10EI_x}\left(1 + \frac{3}{25}\cdot\frac{I_x - I'_x}{I_x}\right) \leqslant [v] \tag{8-37}$$

（3）等截面连续梁：

$$v = \left(\frac{M_x}{10} \sim \frac{M_1 + M_2}{16}\right)\frac{l^2}{EI_x} \leqslant [v] \tag{8-38}$$

式中　M_x——由全部竖向荷载（标准值，不考虑动力系数）产生的最大弯矩；

M_1、M_2——与 M_x 同时产生的两端支座负弯矩（代入公式时取绝对值）；

I_x——跨中毛截面惯性矩；

I'_x——支座处毛截面惯性矩；

$[v]$——容许挠度值。

8.4.6 连接和构造

1. 焊缝应根据结构的重要性、荷载特性、焊缝形式、工作环境以及应力状态等情况按下述原则分别选用不同的质量等级：

（1）在需要进行疲劳计算的构件中，凡对接焊缝均应焊透，其质量等级为：

1）横向对接焊缝或轴向受力的T形对接与角接组合焊缝受拉时应力一级，受压时应为二级；

2）纵向对接焊缝应为二级。

（2）不需要进行疲劳计算的构件中，凡要求与母材等强的对接焊缝应予焊透。其质量等级当受拉时应不低于二级，受压时宜为二级。

（3）对于重级工作制（A6～A8）和起重量 $Q \geqslant 50$t 的中级工作制（A4、A5）吊车梁的腹板与上翼缘之间及吊车桁架上弦杆与节点板之间的T形接头要求焊透（图8-16）的焊缝，焊缝形式一般为对接与角接的组合焊缝，其质量等级不应低于二级。此时，可按母材等强度考虑，不需验算连接焊缝强度。

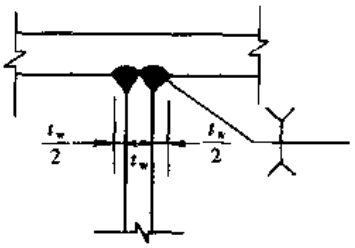


图8-16 上翼缘腹板焊透的T形连接焊缝

（4）吊车梁腹板与翼缘之间不要求焊透的T形接头焊缝可采用角焊缝或部分焊透的对接与角接组合焊缝，双层翼缘板之间则采用角焊缝，其质量等级为三级，但重级工作制吊车梁和 $Q \geqslant 50$t 的中级工作制吊车梁外观质量标准应符合二级。

2. 吊车梁翼缘板与腹板的连接角焊缝应按下列公式计算：

上翼缘板与腹板的连接角焊缝：

$$h_f = \frac{1}{2 \times 0.7 f_f^w} \sqrt{\left(\frac{VS_1}{I_x}\right)^2 + \left(\frac{\psi F}{l_z}\right)^2} \tag{8-39a}$$

下翼缘与腹板的连接角焊缝：

$$h_f \geqslant \frac{VS_1}{2 \times 0.7 f_f^w I_x} \tag{8-39b}$$

式中 V——计算截面的最大剪力；

S_1——计算翼缘对梁中和轴的毛截面面积矩；

I_x——梁对 x 轴的毛截面惯性矩；

h_f——角焊缝的焊脚尺寸；

ψ、F、l_z——按第8.4.3第3条的规定采用。

3. 支座加劲肋与腹板的连接焊缝，应按下列情况计算确定：

当为平板式支座时，

$$h_f = \frac{R_{max}}{0.7 n l_w f_f^w} \tag{8-40a}$$

当为突缘支座时，

$$h_f = \frac{1.2R_{max}}{0.7nl_w f_f^w} \tag{8-40b}$$

式中　n——焊缝条数；

l_w——焊缝计算长度，取支座处腹板焊缝的全高减去 $2h_f$。

当计算所得的 $h_f < 0.7t_w$ 时，则取 $h_f = 0.7t_w$，且不小于6mm；当为突缘支座且腹板厚度 $t_w > 14$mm 时，腹板应剖口加工，以利焊缝焊透。

4. 横向加劲肋和纵向加劲肋的构造与连接应满足下列要求：

(1) 横向加劲肋与上翼缘相接处应切角。当切成斜角时，其宽约为 $b_s/3$（但不大于40mm），高约为 $b_s/2$（但不大于60mm）。b_s 为加劲肋宽度（图8-17）；

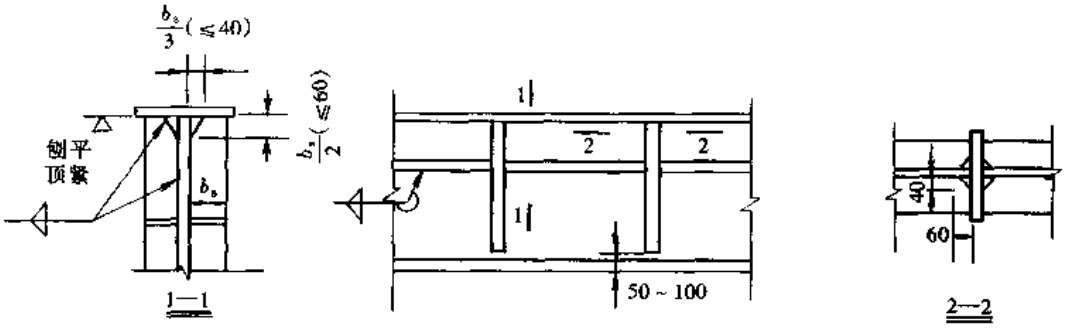


图8-17　横向和纵向加劲肋的切角

(2) 横向加劲肋的上端应与上翼缘刨平顶紧后焊接，加劲肋的下端宜在距受拉翼缘50～100mm处断开（图8-17），不应另加零件与受拉翼缘焊接。加劲肋与腹板的连接焊缝，施焊时不宜在加劲肋下端起落弧；

(3) 当同时采用横向加劲肋和纵向加劲肋时，其相交处应留有缺口（图8-17剖面2-2），以免形成焊接过热区。

5. 吊车梁的翼缘板和腹板的拼接应采用加引弧板和引出板的焊透对接焊缝，引弧板和引出板割去处应打磨平整，并应符合下列要求：

(1) 上下翼缘板的对接焊缝一般要求采用自动焊的直缝对接，并要求焊透。当下翼缘对接焊缝位于跨中的1/3范围内时，宜采用45°～55°斜缝对接；

(2) 翼缘或腹板的工厂拼接接头不应设在同一截面上，应尽量错开并应≥200mm，接头位置宜设在距支座约为1/3～1/4梁跨度的范围内。

对于腹板纵横两方向的对接焊缝，可采用T形交叉也可采用十字形交叉，对T形交叉接头，其交叉点的距离不得小于200mm；

(3) 对接焊缝所选用的引弧板和引出板，必须与母材的材质、厚度相同。剖口形式与母材相同。

(4) 焊接吊车梁的工地整段拼接宜采用高强度螺栓的摩擦型连接，其中上翼缘板可采用对接焊缝，确保焊透。

8.4.7　其他注意事项

1. 焊接吊车梁的下列部位，应用机械加工（砂轮打磨或刨铲）使之平缓：

（1）对接焊缝引弧板和引出板切割处。

（2）重级工作制吊车梁受拉翼缘板、腹板对接焊缝的表面。

（3）重级工作制吊车梁的受拉翼缘边缘，宜采用自动精密气割，当用手工气割或剪切机切割时，应沿全长刨边。

2. 吊车梁的受拉翼缘上不得任意焊接悬挂设备零件，也不允许在该处打火或焊接夹具。当吊车梁受拉翼缘与支撑相连时，不宜采用焊接。

3. 重级工作制（A6～A8 级）吊车梁中，上翼缘与柱或制动桁架传递水平力的连接宜采用高强度螺栓的摩擦型连接，而上翼缘与制动梁的连接，可采用高强度螺栓摩擦型连接或焊缝连接。

4. 横向加劲肋下端点的焊缝应采用连续的围焊或回焊，以免在端部有起弧、灭弧而损伤母材。对于重级工作制吊车梁，其加劲肋端部常为疲劳所控制，因此要求回焊长度不小于 4 倍角焊缝的厚度。

5. 吊车梁端部与柱的连接构造应设法减少出于吊车梁弯曲变形而在连接处产生附加应力。

6. 跨度≥24m 的吊车梁宜考虑起拱，拱度约为跨度的 1/1000。吊车梁的工地整段拼接要求详见 8.4.6 条第 4.4 款进行。

7. 腹板局部加厚的焊接工字形吊车梁应符合下列构造要求，并可近似地按腹板等厚的梁进行计算（图 8-18）：

（1）加厚腹板的高度约取 $h_0/5$；

（2）腹板对接焊缝应满足图 8-18 所示的构造要求；

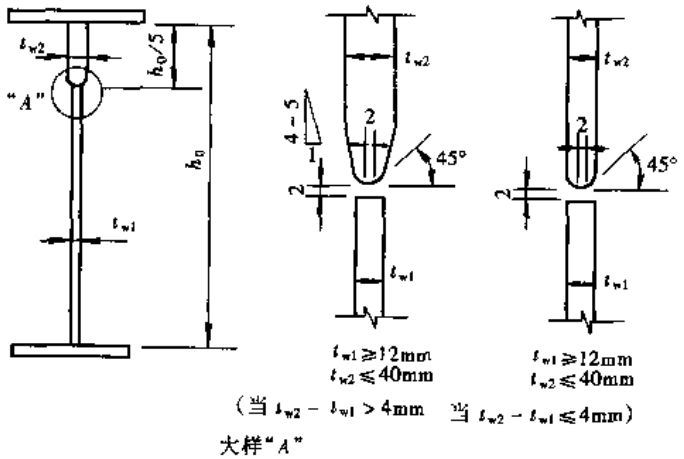


图 8-18 局部腹板加厚的工字形梁及其连接构造

（3）在引用计算公式时，除在计算集中荷载 F（P）所产生的局部压应力 σ_c 式中的 t_w 按 t_{w2}取值外，其他应按 t_{w1}取值。

8.5 实腹式铆接吊车梁

8.5.1 截面选择

1. 铆接工字形吊车梁，通常设计成由一层或多层翼缘板、翼缘角钢和腹板组成的T

字形截面（图 8-19）。为了便于在加劲肋处加设填板，通常采用上、下翼缘角钢的厚度相等。在荷载很大时，因翼缘传力要求可采用垂直腋板加强（图 8-19*c*）。

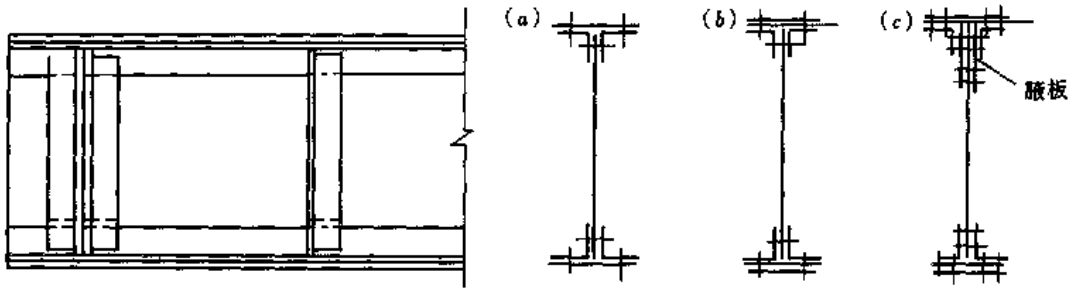


图 8-19　铆接工字形吊车梁的形式

在大跨度吊车梁中，为了节约钢材、减轻自重，一般按弯矩包络图及其相应剪力确定各层翼缘板切断点的变截面梁，当相邻跨梁跨度较小而梁高较小时，大跨度梁的端部高度与相邻梁高度取得一致的变高度吊车梁（图 8-20*b*）。

2. 铆接吊车梁的内力计算与焊接吊车梁相同，参见 8.4.1 第 1，2 条。

3. 铆接吊车梁的截面高度和腹板厚度（图 8-21）均可参照焊接工字形吊车梁的有关要求初步选定。其经济高度的计算中应将公式中的 W 值以 $\frac{1.3M_{max}}{f}$（对较小梁）或 $\frac{1.4M_{max}}{f}$（对较大梁）代入。

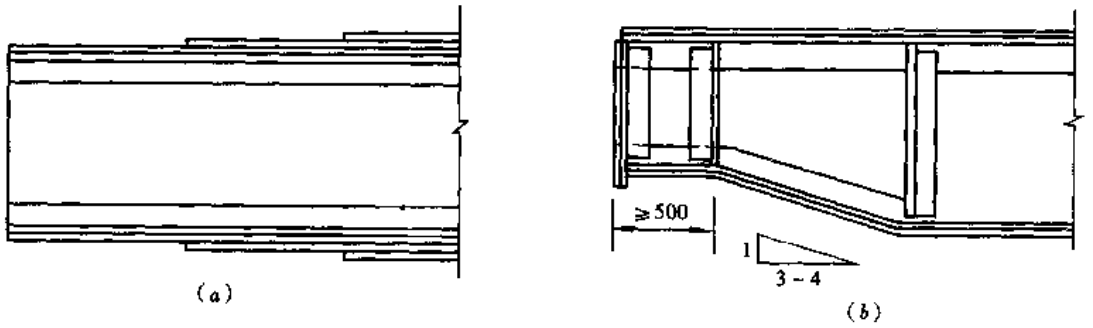


图 8-20　铆接吊车梁的截面变化示意图

（*a*）变翼缘板；（*b*）变梁的高度

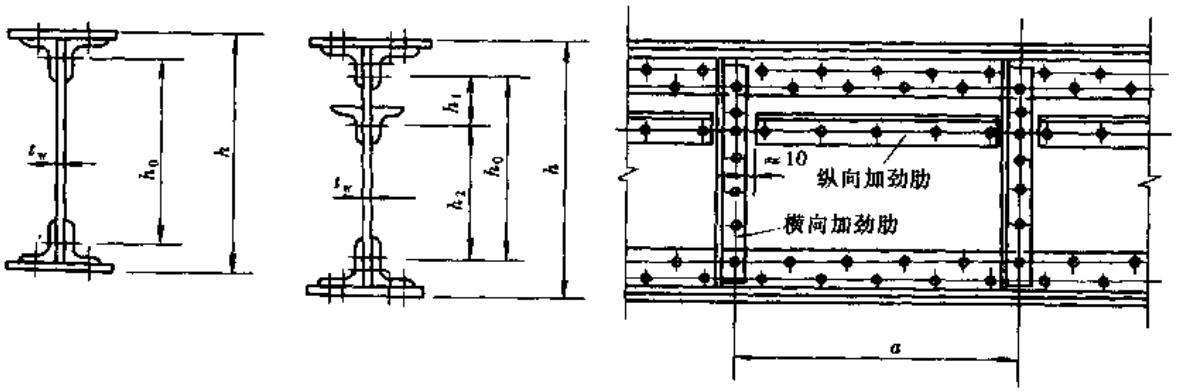


图 8-21　铆接实腹式吊车梁纵横加劲肋布置

当确定铆接吊车梁的翼缘尺寸时，应满足下列要求：

（1）铆接梁的翼缘板不宜超过三层，且铆合钢板的总厚度不宜超过铆钉直径的5倍，若采取有效措施保证钉杆塞紧钉孔时，铆合钢板的总厚度容许为铆钉直径的7倍（应用高头铆钉）；

（2）翼缘角钢的面积不宜少于整个翼缘总面积的30%，当采用最大型号的角钢仍不能满足此要求时，可加设腋板（图8-19c）。此时，角钢与腋板面积之和不应少于翼缘总面积的30%。腋板宽度应大于翼缘角钢垂直肢宽，宽出部分应能按规定距离设置1～2行铆钉，以便与腹板相连；

（3）多层翼缘板的各层板厚宜尽量相同，并宜与翼缘角钢等厚，以便于拼接。上翼缘铆钉受轨道影响采用埋头铆钉时，埋头一侧的翼缘板其板厚不得小于$0.6d_1$（d_1为埋头铆钉的直径）。

（4）翼缘角钢的厚度最好与腹板厚度相同，以便于拼接。否则其厚度应较腹板厚4～6mm，以便拼接时加置填板。

（5）上翼缘为多层翼缘板时，其最下块翼缘板一般较其他翼缘板宽约100mm，以便与制动结构相连接。

（6）翼缘部分尺寸的选择要考虑铆钉排列时的打铆最小尺寸，轨道连接以及与制动结构连接的构造需要（图8-22）。

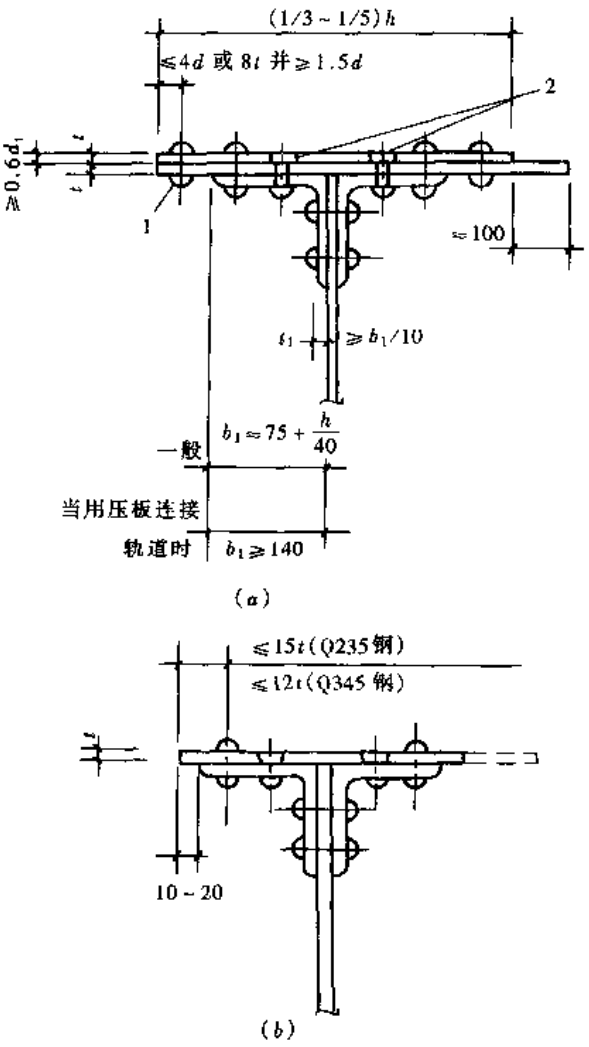


图8-22 铆接吊车梁的翼缘板构造要求

（a）多层翼缘板；（b）单层翼缘板

1—铆钉直径 d；2—埋头铆钉直径 d_1

4. 铆接梁所采用的铆钉直径一般为 $d=20\sim24$mm，最大不宜超过 $d=27$mm。

8.5.2 强度计算

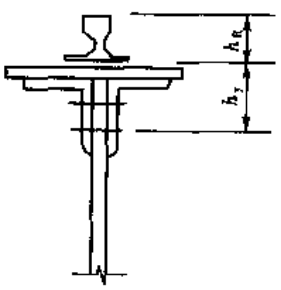


图8-23 铆接吊车梁的 h_y、h_R 取值

1. 铆接简支吊车梁在跨中最大弯矩处上下翼缘的正应力、支座最大剪力处的剪应力以及折算应力，其计算公式均与焊接梁相同。但在计算梁的净截面模量时应考虑铆钉孔削弱的影响。

2. 在计算铆接吊车梁的腹板局部压应力时，其计算公式与焊接梁相同，但在计算吊车轮压的分布长度 z 时，其 h_y 按图8-23取值。

3. 计算铆接吊车梁的疲劳强度时，计算方法和公式也与焊接梁相同，计算受拉翼缘铆钉和虚孔处（图8-24）的主体金属时，其疲劳循环次数 $n=2\times10^6$ 次的容许应力幅 $[\Delta\sigma]_{2\times10^6}=118\text{N/mm}^2$。

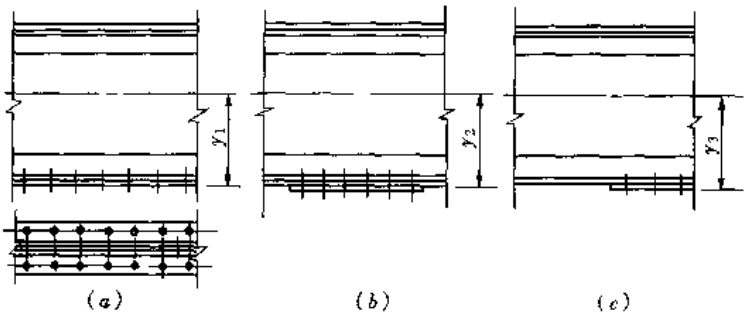


图 8-24　铆接吊车梁中和轴并计算疲劳处的距离取值
（a）联系铆钉和虚孔处的主体金属；（b）对接连接处的主体金属；
（c）翼缘板切断点第一列铆钉处的主体金属

8.5.3　稳定和挠度计算

1. 铆接吊车梁的整体稳定性一般可不必计算。因目前采用铆接梁均为大吨位吊车及大跨度梁、均设有制动结构的。

2. 横向加劲肋和纵向加劲肋的计算均与焊接梁相同，但 h_0 取值为内排铆钉间的距离（图 8-21）。

（1）铆接吊车梁的横向加劲肋和纵向加劲肋均应采用角钢，当加劲肋肢宽≤90mm 时，宜采用等边角钢，当肢宽 > 90mm 时，则宜采用不等边角钢并以短边与腹板相连。

（2）铆接吊车梁支座加劲肋在腹板平面外的稳定性和端面承压应力与焊接梁相同，但计算的截面面积和计算长度 h_0 均按图 8-25 取用。

3. 铆接吊车梁的挠度按第 8.4.5 条的规定计算。

8.5.4　连接和构造

1. 铆接吊车梁上、下翼缘板与翼缘角钢的连接铆钉（头钉）的间距 a 按下式计算：

$$a = \frac{nN^{r}_{\min} I_x}{VS'_1} \tag{8-41}$$

式中　$N^{r}_{\min}$——一个铆钉的承载力设计值，取抗剪或承压两者之较小值；

n——同一截面上的铆钉数；

I_x——所计算截面对 x 轴的毛截面惯性矩；

V——计算截面的最大剪力；

S'_1——翼缘盖板对梁中和轴的毛截面面积矩。

位于轨道下的连接铆钉（头钉）应采用沉头铆钉。此时，铆钉承载力设计值应乘以折减系数 0.8。

2. 上翼缘角钢与腹板的连接铆钉（颈钉）的间距 a 按下式计算：

$$a \leqslant \frac{nN^{r}_{\min}}{\sqrt{\left(\frac{VS_1}{I_x}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_1 \psi F}{l_z}\right)^2}} \tag{8-42}$$

式中　α_1——系数，当荷载 F 作用于梁上翼缘，而腹板刨平顶紧上翼缘时。$\alpha_1 = 0.4$；其他情况，$\alpha_1 = 1.0$；

S_1——翼缘板和翼缘角钢对梁中和轴的毛截面面积矩；

ψ、F、l_z——按 8.4.3 第 3 款的规定采用。

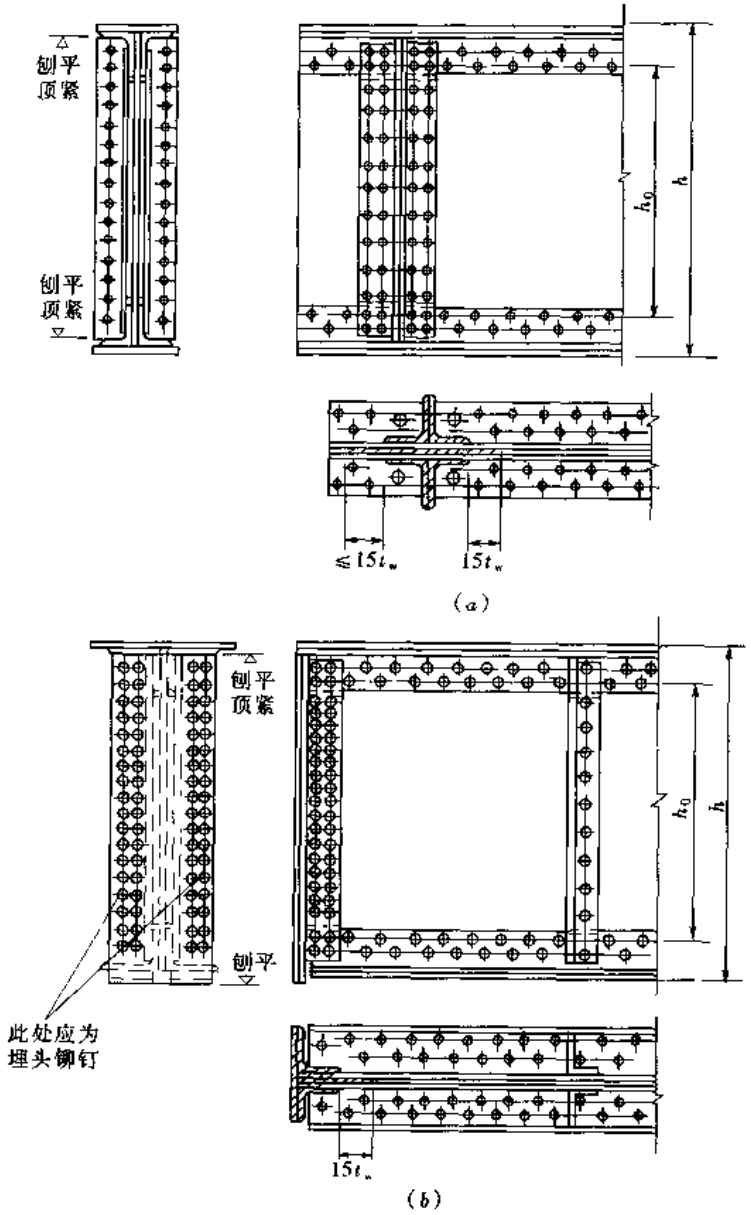


图 8-25 铆接吊车梁支座

(a) 平板式支座；(b) 突缘支座

当吊车轮压较大时，铆接梁的腹板上边缘应刨平顶紧于上翼缘板。

3. 在具有多层翼缘板的铆接吊车梁中，每一块翼缘板的理论切断点和实际切断点之间的铆钉数，应按该板净截面面积一半的承载力计算。

4. 下翼缘角钢与腹板的连接铆钉的间距计算，当下翼缘无悬挂荷载时，可按公式（8-41）计算。此时，式中的 S'_1 应为下翼缘板和下翼缘角钢对梁中和轴的毛截面面积矩；当下翼缘有悬挂荷载时，可按公式（8-42）计算。

5. 支座加劲肋与腹板的连接铆钉（图 8-25），应按传递全部支座反力计算确定：

$$n(\text{铆钉数}) = \frac{R_{max}}{N^{v}_{min}} \tag{8-43}$$

当支座的加劲肋为突缘支座时，突缘支座板与支承角钢外伸肢的连接应采用埋头铆钉（图 8-25*b*）。

6. 横向加劲肋的构造形式有下列三种：

（1）横向加劲肋用垫板与翼缘角钢垫平，并使加劲角钢直接与上翼缘角钢刨平顶紧（图 8-26*a*）。此为最常用的形式；

（2）横向加劲肋角钢借助于短角钢或短钢板与上翼缘角钢顶紧而不直接升至上翼缘（图 8-26*b*），以节约翼缘角钢与加劲肋间的垫板，但受力抗扭性能较差；

（3）将横向加劲角钢加热弯折后直接与上翼缘角钢顶紧（图 8-26*c*），虽可节省填板，但热弯折有热加工初应力影响而应用较少。

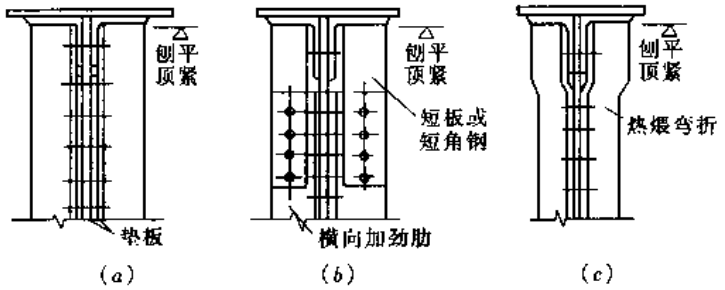


图 8-26　横向加劲肋连接的构造

（*a*）加劲肋直接与上翼缘顶紧；（*b*）加劲肋附加短板或短角钢与上翼缘顶紧；（*c*）加劲肋弯折后与上翼缘顶紧

至于横向加劲肋的下端则不必与下翼缘角钢顶紧。

7. 当同时采用横向加劲肋和纵向加劲肋时，一般将纵向加劲肋断开（图 8-21）。横向加劲肋和纵向加劲肋与腹板的连接铆钉，其中心距离可采用最大容许距离，但应与腹板拼接的钉距和支座加劲肋的钉距相协调。

8. 铆接吊车梁的工厂拼接，应考虑上翼缘可采用加引弧板的直缝对接焊透焊缝，排列头钉时应与翼缘板的对接焊缝错开，焊缝的顶面应磨平，以便与上层盖板密切结合，便于铆合或铺设轨道。翼缘角钢、腹板和下翼缘的翼缘板均宜用铆钉拼接。

翼缘板和翼缘角钢的铆钉拼接，一般均按与被拼接材料全部截面面积所承受的轴心力等强度条件计算确定，拼接处应采用最小钉距。

9. 铆接吊车梁的拼接节点如图 8-27 所示。

铆接吊车梁的下翼缘盖板拼接不宜采用焊接，一般采用拼接板以铆钉或高强度螺栓连接。此时，拼接铆钉或高强度螺栓数量应按翼缘板等强度拼接要求计算确定，当为单面连接时，其铆钉数应按计算增加 10%。

腹板的拼按一般按作用力计算，亦可按等强度要求计算，其弯矩及剪力应各为拼接处梁腹板可能承受的最大弯矩和最大剪力。腹板拼接板厚度宜不小于腹板厚度的 0.6 倍。

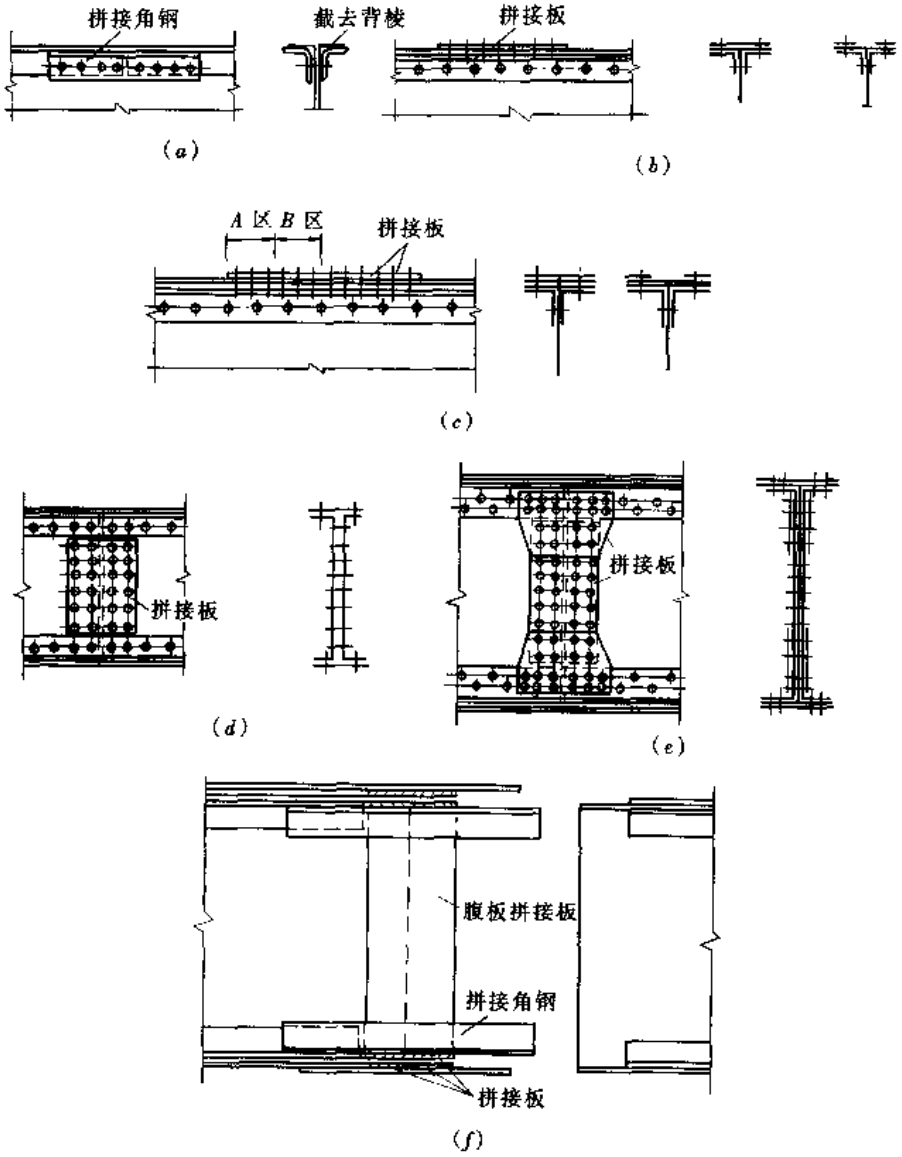


图 8-27 铆接吊车梁的拼接节点

(a) 翼缘角钢的拼接；(b) 一层翼缘盖板拼接；(c) 二层翼缘盖板的拼接；(d) 腹板拼接之一；(e) 腹板拼接之二；(f) 工地拼接接头

8.6 吊 车 桁 架

8.6.1 设计的一般规定

1. 吊车桁架一般指具有竖杆的三角形腹杆体系的平行弦桁架，由劲性上弦杆、腹杆和下弦杆组成。其连接方式有焊接、铆接和高强度螺栓等形式。通常吊车桁架设计成简支的，支座斜杆为下降式（即支座支承于上弦平面），为了减少次应力及焊接应力的影响，不宜在腹系中设再分腹杆。

2. 吊车桁架的高度由吊车吨位大小及其挠度条件确定，桁架高度一般可按下述范围采用：

(1) 当桁架跨度 $l = 12 \sim 18\text{m}$ 时，桁架高度 h 可取 $(1/5 \sim 1/7)\ l$；

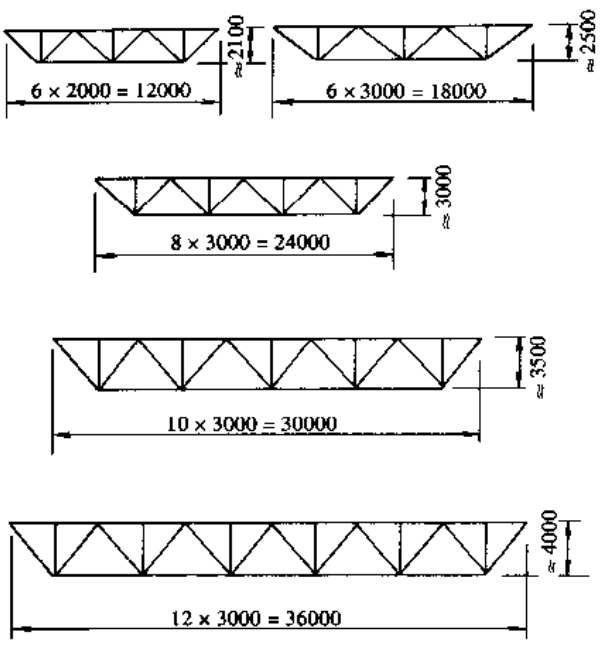


图 8-28　跨度 12～36m 的吊车桁架几何图形

当桁架跨度 $l = 24 \sim 36$m 时，桁架高度 h 可取（1/8～1/10）l。

上述取值对小跨度（或荷载大时）取大值，对大跨度（或荷载小时）取小值，在确定高度时，尚应与建筑净空的要求相协调。

（2）桁架节间以斜腹杆倾角为 40°～50°间较适宜，节间划分时的节间数取偶数。

（3）吊车桁架的几何图形可参照图 8-28 采用。

3. 吊车桁架的劲性上弦杆除承受桁架的轴心力外，尚需承受吊车竖向荷载在节间的局部弯矩。因此，上弦杆截面应优先采用轧制型钢如宽翼缘工字钢、工槽钢组合或工字钢与角钢焊成，当局部弯矩较大时宜采用焊接工字形钢，或采用由角钢组成的工字形截面等。截面高度一般取节间长度的 1/4～1/6。

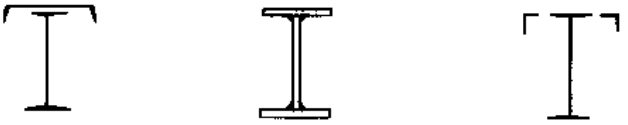


图 8-29　吊车桁架上弦杆的截面形式

常用的上弦杆截面形式如图 8-29 所示，常用的下弦杆截面形式如图 8-30 所示，常用的腹杆截面形式如图 8-31 所示。

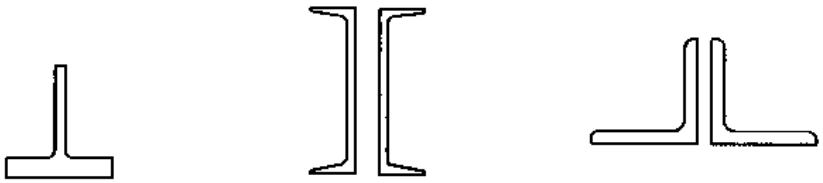


图 8-30　吊车桁架下弦杆的截面形式

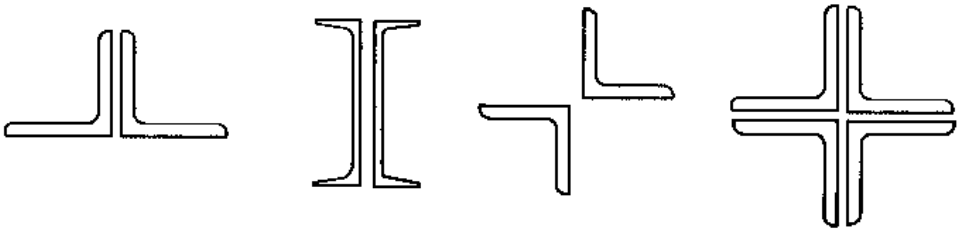


图 8-31　吊车桁架腹杆的截面形式

8.6.2　内力计算

1. 具有劲性上弦杆的吊车桁架，其腹杆的重心线一般均交于上弦杆的下边缘，若要采用精确法求解吊车竖向荷载作用下各杆件内力是很复杂的，一般均采用下列的近似法计算：

（1）计算桁架各杆件轴心力时，可假定节点为铰接，各杆件重心线在节点处汇交于一

点的静定桁架计算（如图 8-32 虚线所示），并且除上弦杆以外的其他杆件均仅承受轴心力。

（2）根据上述假定，采用杆件内力影响线，将吊车竖向荷载布置在影响线图上的最不利位置，算出相应竖向荷载作用位置处的纵坐标值 y_i，即可按下式计算杆件的最大轴心力。

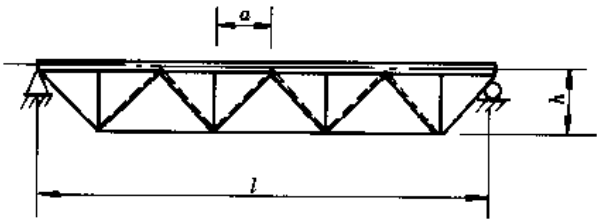


图 8-32 吊车桁架计算简图

$$N_{i\max} = \beta_w \Sigma P_i y_i \tag{8-44}$$

式中 P_i——作用在劲性上弦杆的各个吊车竖向荷载（设计值，考虑动力系数）；

y_i——在各竖向荷载作用位置处，由单位竖向荷载作用下所产生的杆件轴心力影响线的纵坐标（应带各自的正负号），如图 8-33 所标注的值；

β_w——考虑吊车桁架等自重影响系数，按表 8-2 采用。

支座斜杆为下降式时，三角形腹杆系桁架的杆件内力影响线如图 8-33 所示。

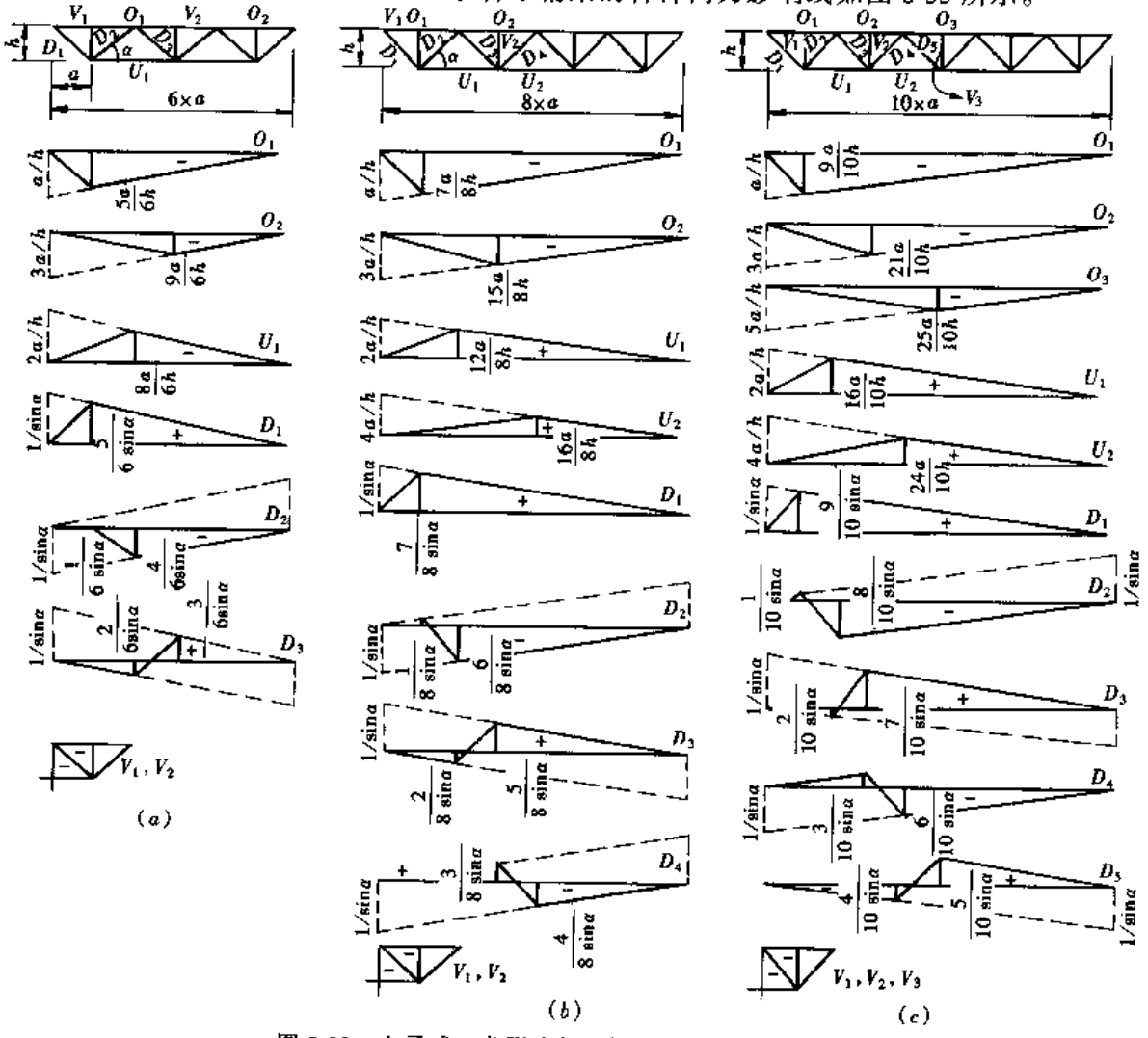


图 8-33 上承式三角形腹杆系桁架杆件的内力影响线

（a）上弦、六个节间；（b）上弦八个节间；（c）上弦十个节间

2. 计算上弦杆在竖向荷载作用下所产生的局部弯矩 M_L 时，可近似地按以下方法之一确定：

（1）当桁架的上弦杆节间长度 $a \leqslant 3\text{m}$ 时：

$$M_L = \frac{1}{3} Pa \tag{8-45}$$

式中　P——作用在一个轮子上的最大竖向荷载（设计值，考虑动力系数）；

a——上弦杆的节间长度。

（2）考虑上弦杆的连续性和腹杆与上弦杆在节点处的连接偏心而引起的偏心弯矩以及桁架下挠时对上弦杆影响的三项弯矩叠加法，此种近似方法可不受吊车轮距和上弦杆节间长度的限制。但上弦杆的计算节间，应按同时产生最大轴心力和相应的节间跨中最大弯矩来布置吊车竖向荷载。

根据三项弯矩叠加法，上弦杆的局部弯矩 M_L 可按下式计算：

$$M_L = M_1 + M_2 + M_3 \tag{8-46}$$

式中　M_1——将上弦杆视为具有刚性支座的连续梁，在节间竖向荷载作用下在所计算节间截面 n（图 8-34）的最大弯矩，在求弯矩 M_1 时，所取荷载作用位置应与上弦杆产生最大轴心力时的荷载位置相一致；

M_2——在由于桁架的腹杆与上弦杆在节点处的连接偏心而引起的各节点偏心弯矩作用下，在所计算节间截面 n（图 8-34）所产生的弯矩，此时，所取荷载作用位置应与上弦杆产生最大轴心力时的荷载位置相一致，当桁架腹杆与上弦杆的重心线在节点汇交于一点时，则 $M_2 = 0$；

M_3——由于桁架的下挠引起上弦杆变形而在上弦杆所计算节间截面 n（图 8-34）所产生的弯矩。

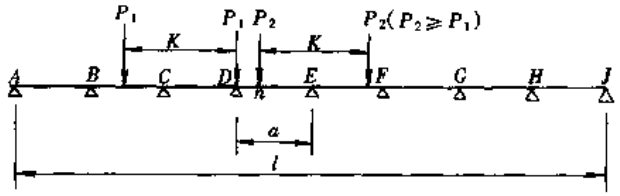


图 8-34　计算吊车桁架上弦杆局部弯矩的竖向荷载布置

计算节间竖向荷载作用下多跨连续上弦杆所计算节间截面 n 的最大弯矩 M_1 时，荷载作用位置按上弦杆产生最大轴心力进行布置（图 8-34），将作用有节间竖向荷载 P 的节间视为单跨固定梁，求取各跨梁在竖向荷载作用下的固端弯矩，而后再用一般弯矩分配法或一次弯矩分配法求得各节间的支座弯矩；最后叠加各杆端弯矩（应带各自的正负号），并可求得所计算节间截面 n 的弯矩 M_1。

当上弦杆的各节间长度及截面都相等的情况下，当采用一次弯矩分配法求取支座弯矩时，可按图 8-35 所示的方法进行计算和传递。即：

$$M_B = 0.5\ (M^f_{BC} + 0.27M^f_{CB});\quad M_C = 0.5\ (M^f_{CB} + 0.27M^f_{BC})$$

$$M_D = 0.5\ (M^f_{DE} + 0.27M^f_{ED});\quad M^{左}_{E} = 0.5\ (M^f_{ED} + 0.27M^f_{DE})$$

$$M^{右}_{E} = 0.5\ (M^f_{EF} + 0.27M^f_{FE});\quad M_F = 0.5\ (M^f_{FE} + 0.27M^f_{EF})$$

式中　M^f_{BC}、M^f_{CB}——将 BC 跨视为单跨固定梁，在跨间竖向荷载 P_1 作用下梁端 B 和 C 的面端弯矩；

M^f_{DE}、M^f_{ED}——将 DE 跨视为单跨固定梁，在跨间竖向荷载 P_2 作用下梁端 D 和 E

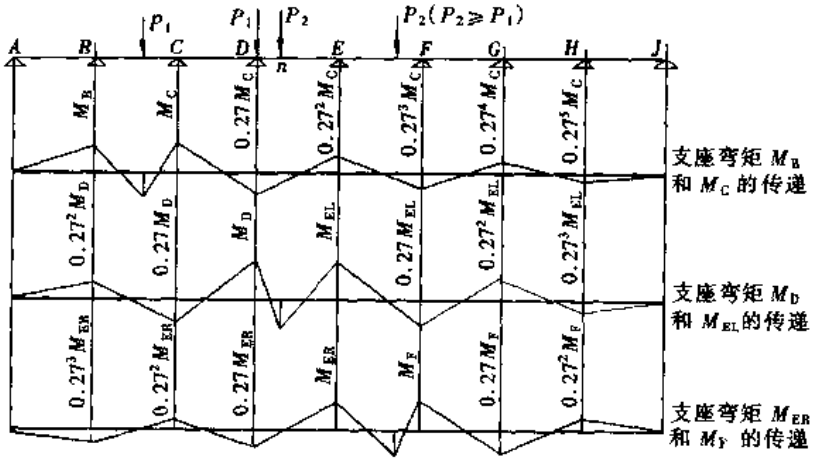


图 8-35 吊车竖向荷载作用在节间时，在劲性上弦杆所产生的支座弯矩的传递

的固端弯矩；

M^l_{EF}、M^l_{FE}——将 EF 跨视为单跨固定梁，在跨间竖向荷载 P_2 作用下梁端 E 和 F 的固端弯矩。

计算各节点偏心弯矩作用下所计算节间截面 n 的弯矩 M_2 时，荷载作用位置仍按上弦杆产生最大轴心力时进行布置（图 8-34），并将因桁架腹杆与上弦杆在节点处的连接偏心引起的各节点偏心弯矩 M'_A、M'_C、M'_E、M'_G 和 M'_J 视为作用在上弦节点 A、C、E、G 和 J 上的外力；在上弦杆各节间的长度及截面均相等的情况下，可采用一次弯矩分配法求得上弦杆的各支座弯矩，并可按图 8-36 所示方法进行计算和传递；最后叠加各杆端弯矩（应带各自的正负号），求取所计算节间截面 n 的弯矩 M_2。

3. 计算由于桁架的下挠引起上弦杆变形而在上弦杆所计算节间截面 n 所产生的弯矩 M_3 时，将桁架视为跨度为 l 的简支梁系，则弯矩 M_3 可按下式计算：

$$M_3 = \frac{M_x I_{x_1}}{I_x} \tag{8-47}$$

式中 M_x——跨度为 l 的简支梁，仍按图 8-34 所示的荷载作用下，在所计算截面 n 所产生的弯矩；

I_{x_1}——上弦杆截面对 x_1 轴（图 8-37）的惯性矩；

I_x——桁架跨中上、下弦杆对 x 轴（图 8-37）的折算惯性矩，可按下式求得：

$$I_x = 0.8\ (I_{x_1} + A_1 y_1^2 + A_2 y_2^2) \tag{8-48}$$

A_1、A_2——上、下弦杆截面面积。

4. 由吊车横向水平荷载对上弦杆所产生的轴心力和弯矩，可按下述情况确定：

（1）当吊车桁架的制动结构为制动梁时，由吊车横向水平荷载 H 或 H_k 对上弦杆产生弯矩 M_H，可按图 8-34 所示的荷载位置，将吊车竖向荷载 P 换为横向水平荷载 H，面后按跨度为 l 的简支梁计算。

（2）当吊车桁架的制动结构为制动桁架时，由吊车横向水平荷载 H 或 H_k 对上弦杆所产生的局部弯矩 M'_H，可按 8.4.1 第 3 款（2）条公式（8-19）至公式（8-22）求得。

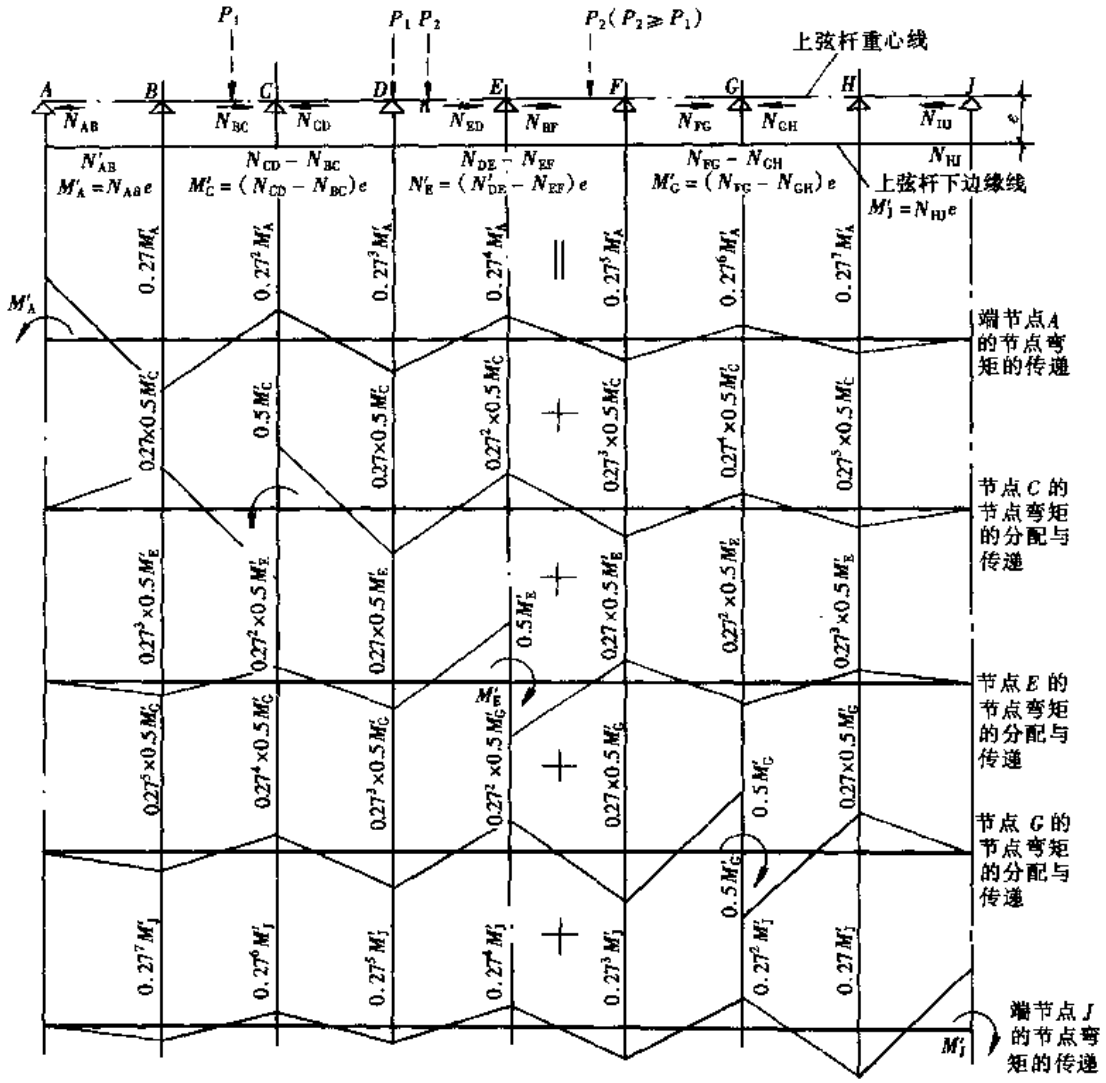


图 8-36　劲性上弦杆节点偏心弯矩的分配与传递（图 8-33*b*）

注：图中 N_{AB}、N_{BC}、N_{GH}、N_{HJ} 分别为吊车竖向荷载按图 8-34 所示最不利位置布置时，按假定桁架各节点均为铰接，各杆件重心线在节点处汇交于一点（图 8-32 虚线所示）的静定桁架计算所得到的上弦杆各节间的轴心力

由吊车横向水平荷载 H 对上弦杆所产生的轴心力 N_H，可按图 8-34 所示的荷载位置，将吊车竖向荷载 P 置换为横向水平荷载 H，而后将制动桁架（包括吊车梁上弦杆）按跨度为 l 的简支桁架计算。

8.6.3　截面选择

1. 吊车桁架各杆件的容许长细比不宜超过表 8-8 的数值。

吊车桁架各杆件的容许长细比　　表 8-8

杆件名称			容许长细比值
受压杆件			150
受拉杆件	下弦杆或支座斜杆	当为轻级工作制吊车桁架	250
		当为中、重级工作制吊车桁架	200
	其他杆件		250

注：计算长细比时，杆件的计算长度可按第 3.2.5 条的规定采用。

2. 吊车桁架应按下列情况分别计算各杆件的强度及稳定：

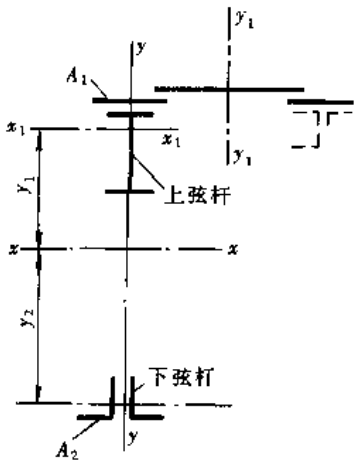


图 8-37 计算吊车桁架截面特性的简图

（1）劲性上弦杆的强度：

1）上弦杆截面上边缘的强度：

A. 当制动结构为制动梁时；

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A_n} + \frac{M_L}{W^{上}_{nx_1}} + \frac{M_T}{W_{ny_1}} \leqslant f \tag{8-49}$$

B. 当制动结构为制动桁架时；

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A_n} + \frac{M_H}{A'_n} + \frac{M_L}{W^{上}_{nx_1}} + \frac{M'_H}{W_{ny}} \leqslant f \tag{8-50}$$

2）上弦杆截面下边缘的强度：

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A_n} + \frac{M_L}{W^{下}_{nx_1}} \leqslant f \tag{8-51}$$

（2）劲性上弦杆的稳定性：

1）当制动结构为制动梁时；

$$\frac{N_{max}}{\varphi A} + \frac{M_L}{W^{上}_{x_1}} + \frac{M_H}{W_{y_1}} \leqslant f \tag{8-52}$$

2）当制动结构为制动桁架时，

$$\frac{N_{max}}{\varphi A} + \frac{N_H}{\varphi A'} + \frac{M_L}{W^{上}_{x_1}} + \frac{M'_H}{W_y} \leqslant f \tag{8-53}$$

（3）下弦杆和受拉腹杆的强度计算：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leqslant f \tag{8-54}$$

（4）受压腹杆的稳定性计算：

$$\frac{N}{\varphi A} \leqslant f \tag{8-55}$$

式中 N_{max}——吊车竖向荷载作用下，上弦杆所产生的最大轴心力，按 8.6.2 条款(1)确定；

N_H——吊车横向水平荷载作用下，上弦杆所产生的轴心力，按 8.6.2 第 4 款确定；

M_L——上弦杆的局部弯矩，按第 8.6.2 条第（2）款确定；

M_H、M'_H——吊车横向水平荷载作用下，上弦杆所产生的弯矩，按 8.6.2 第 4 款确定；

A_n、A——上弦杆的净截面面积和毛截面面积；

A'_n、A'——劲性上弦杆作为制动桁架的弦杆，考虑其参加工作的有效净截面面积和毛截面面积，取上弦杆截面高度上部 1/3 的面积和上翼缘面积与腹板上部 $20t_w\sqrt{235/f_y}$（t_w 为腹板厚度）高度的面积之和的两者中的较小者；

$W^{上}_{nx_1}$、$W^{上}_{x_1}$——上弦杆对 x_1 轴的上部纤维的净截面抵抗矩和毛截面模量；

$W^{下}_{nx_1}$——上弦杆对 x_1 轴的下部纤维的净截面模量；

W_{ny_1}、W_{y_1}——上弦杆有效净截面和有效毛截面对 y_1 轴的净截面和毛截面模量；

W_{ny}、W_y——上弦杆对 y 轴的净截面和毛截面模量；

φ——由上弦杆最大长细比决定的轴心受压构件稳定系数，根据截面分类表表14-1采用。

3. 承受重级和中级工作制吊车的吊车桁架，其杆件应按公式（8-5）计算疲劳强度。

4. 简支吊车桁架的跨中挠度 v 可近似地按下式计算：

$$v = \frac{Ml^2}{8EI_x} \leqslant [v] \tag{8-56}$$

式中　M——吊车竖向荷载标准值（不考虑动力系数）和桁架自重、轨道等重量所产生的跨中最大弯矩；

l——桁架的跨度；

I_x——桁架跨中截面的上、下弦杆对中和轴 x-x 轴的毛截面折算惯性矩由公式（8-48）求得。

8.6.4　连接、节点和构造

1. 吊车桁架的上、下弦杆与各腹杆的连接，一般均采用节点板连接，连接方法可采用焊接、铆接或高强度螺栓连接。由于吊车桁架的节点在动力荷载作用下对疲劳较敏感，因此吊车桁架的节点要考虑疲劳的影响。

（1）对于劲性上弦杆的节点板应采用K型焊缝与上弦杆的下翼板焊透连接。

（2）对节点连接，当为重级工作制吊车桁架或起重量≥30t的中级工作制吊车桁架、且跨度≥24m时，宜优先采用铆接或高强度螺栓连接，而起重量＜30t的中、轻级工作制吊车桁架的节点连接可采用焊接。当采用铆钉或高强度螺栓连接时，铆钉或高强度螺栓的直径一般采用20～24mm，且一根梁宜用一种直径便于施工。

2. 吊车桁架的连接节点是保证桁架可靠工作的重要环节，因此设计应考虑以下要求

（1）桁架的各个杆件的交汇点均应以截面的形心线交汇于一点。当单腹板式工字形截面上弦杆截面高度较高时，腹杆的形心线宜交于上弦杆的下边缘，并与桁架的几何轴线相重合；

（2）当桁架采用铆钉或高强度螺栓连接时，对于由双槽钢或四个角钢组成的工字形截面的杆件，应以杆件的重心线与桁架的几何轴线相重合，对于由双角钢组成的T形截面构件，则以铆钉线或螺栓线与桁架的几何轴线相重合，当杆件上布置双排铆钉或螺栓时，通常以靠近角钢背棱的铆钉或螺栓线为准；

（3）桁架节点焊缝计算时，腹杆按最大内力计算，弦杆则按相邻节间弦杆内力差来计算，当杆件为双角钢组成的T形截面时侧面角焊缝的计算见公式（4-20）、(4-21)。

（4）吊车桁架的劲性上弦杆，当采用焊接工字形截面时，其焊缝要求、加劲肋布置、梁上翼缘或制动结构与柱相互的连接、支撑与梁等的连接要求均可按焊接实腹式吊车梁要求进行。

（5）当吊车为重级工作制时，节点应采用高强螺栓或铆钉连接。

3. 吊车桁架的节点板厚度可根据腹杆的最大内力按表8-9采用，并不宜小于8mm。支座节点板厚度比表中节点板增加2mm。

吊车桁架节点板厚度选用表 表 8-9

吊车桁架的腹杆最大内力（kN）	节点板的钢号	Q235 钢	≤300	301～500	501～700	701～950	951～1200	1201～1550	1551～2000
		Q345 钢	≤350	351～570	571～780	781～1050	1051～1300	1301～1650	1651～2100
节点板厚度（mm）			8	10	12	14	16	18	20

注：1. 对于支座斜杆为下降式的吊车桁架，应按靠近支座的第二根斜腹杆（即最大受压斜腹杆）的内力来确定节点板的厚度。

2. 杆件边缘间的最小净距 l_1 和节点板厚度 t 之比 l_1/t，当 $3.5 < l_1/t \leq 6$，且杆件为压力时，宜将压力值增大10%后再查表。

当节点板承受较大的拉力时，可按下式计算节点板的局部抗拉强度：

$$\sigma = \frac{N}{Lt} \leq f \tag{8-57}$$

式中 N——节点板所连接杆件的轴心拉力；

$L = \Sigma k_i l_i$——整个撕裂面的折算长度；

k_i——折算系数，根据撕裂面的各边和杆件轴线的夹角 α_i（图 8-38），可按下式计算：

$$k_i = \frac{1}{\sqrt{1 + \cos^2 \alpha_i}} \tag{8-58}$$

亦可由表 8-10 查得。

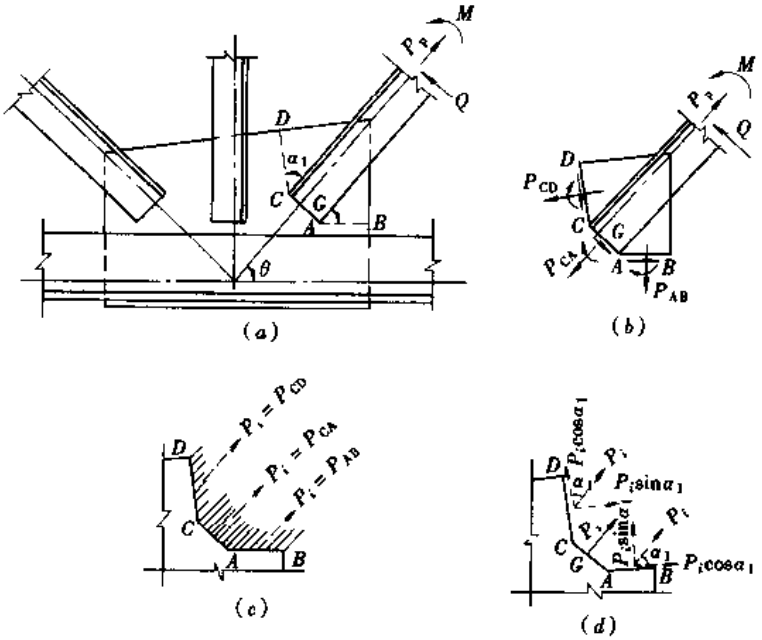


图 8-38 吊车桁架节点板的计算简图

折算长度系数 k_i 表 8-10

1～10°		11°～20°		21°～30°		31°～40°		41°～50°		51°～60°		61°～70°		71°～80°		81°～90°	
α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i	α_i	k_i
1°	0.577	11°	0.584	21°	0.603	31°	0.636	41°	0.683	51°	0.746	61°	0.824	71°	0.908	81°	0.976
2°	0.577	12°	0.585	22°	0.606	32°	0.640	42°	0.689	52°	0.754	62°	0.833	72°	0.916	82°	0.981

续表

1～10°		11°～20°		21°～30°		31°～40°		41°～50°		51°～60°		61°～70°		71°～80°		81°～90°	
α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1	α_1	k_1
3°	0.577	13°	0.587	23°	0.609	33°	0.644	43°	0.695	53°	0.761	63°	0.841	73°	0.924	83°	0.985
4°	0.578	14°	0.588	24°	0.612	34°	0.648	44°	0.701	54°	0.769	64°	0.849	74°	0.931	84°	0.989
5°	0.578	15°	0.590	25°	0.615	35°	0.653	45°	0.707	55°	0.776	65°	0.859	75°	0.939	85°	0.992
6°	0.580	16°	0.592	26°	0.618	36°	0.658	46°	0.713	56°	0.784	66°	0.866	76°	0.946	86°	0.995
7°	0.581	17°	0.594	27°	0.621	37°	0.662	47°	0.719	57°	0.792	67°	0.875	77°	0.952	87°	0.997
8°	0.581	18°	0.596	28°	0.625	38°	0.667	48°	0.726	58°	0.800	68°	0.883	78°	0.959	88°	0.998
9°	0.582	19°	0.598	29°	0.628	39°	0.672	49°	0.733	59°	0.808	69°	0.891	79°	0.965	89°	0.999
10°	0.583	20°	0.601	30°	0.632	40°	0.678	50°	0.739	60°	0.816	70°	0.900	80°	0.971	90°	1.000

节点板强度的其他计算方法和在斜腹杆压力作用下的稳定计算可参见公式（7-45）～(7-48)。

4. 按杆件实际最大轴心力计算其连接（包括节点板）强度时，应将计算力增大10%，焊接桁架中节点板与工字形上弦杆的连接以及三块板组合工字形截面的腹板与上翼缘的连接均应采用焊透的T形连接，焊缝质量等级应不低于二级。

5. 劲性上弦杆的腹板应按构造沿全长成对配置横向加劲肋，其间距不得小于$0.5h_0$、且不得大于$2h_0$（h_0为上弦杆截面的计算高度）。在梁设有垂直支撑处应设置相应的抗扭横隔，并在支座与柱连接处设置抗扭垂直隔板（图8-41节点“A”）。

6. 吊车桁架的节点构造要求应注意下列各项所示：

（1）应使杆件内力在节点中的传递尽可能做到直接与平顺；节点应尽可能做到紧凑，形状简单平滑，以避免应力集中。

1）节点连接当采用焊接时，应将焊缝的起弧和灭弧处磨平。

2）对于采用铆钉或高强度螺栓连接的角钢或槽钢杆件，当杆件内力较大时，宜在其外伸肢增设传力短角钢。为了传力平滑，节点板尽可能加工成有圆滑的过渡。

（3）在设计焊接吊车桁架时，节点焊缝的布置应方便施焊，避免采用易引起过大应力与变形的密集焊缝，同时焊缝的布置应尽量对称于构件重心。

1）节点处的焊缝应采用连续侧面角焊缝（不围焊），不得采用间断焊缝，杆件与节点板的连接焊缝的最小厚度为8mm，最小长度为100mm，但侧面角焊缝的厚度不得大于节点板厚度；在满足传力的条件下，不应采用过长和焊脚尺寸过大的焊缝。

2）杆件与节点板的传力焊缝可优先采用三面围焊，围焊转角处必须连续施焊。在一个杆端的围焊中，较长一条侧面角焊缝的长度不宜小于端面角焊缝的长度，同时侧面角焊缝端头均宜缩进节点板不小于15mm。

（3）当节点板和杆件分别采用Q235钢和Q345钢时，宜采用E43型焊条施焊，此时焊缝的强度设计值按Q235钢采用。

7. 焊接吊车桁架的腹杆与下弦杆边缘的距离a，一般不得大于$6t$或80mm（t为节点板厚度），也不宜小于50mm，节点板两侧边宜作成半径r不小于60mm的圆弧，节点板边缘与腹杆轴线的夹角θ不应小于30°（图8-39）；节点板与角钢弦杆的连接焊缝，起弧、灭弧点应至少缩进5mm（图8-39a）；节点板与工字钢弦杆的T形连接焊缝应予焊透，圆弧处不得有起弧、灭弧缺陷，其中重级工作制吊车桁架的圆弧处应予打磨，使之与弦杆平缓

过渡（图 8-39*b*）。

（1）杆件的填板当用焊缝连接时，焊缝起弧、灭弧点应缩进至少 5mm（图 8-39*c*），并要求在构件施焊后用小锤敲击焊缝两端。重级工作制吊车桁架构件的填板应采用高强度螺栓连接。

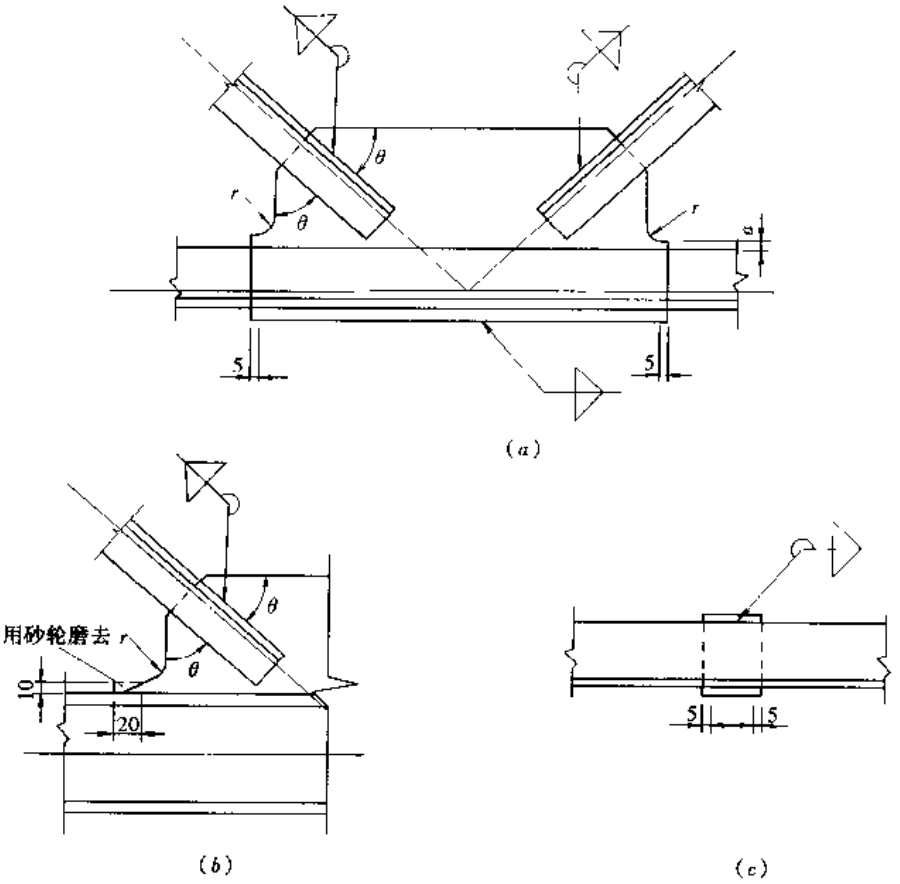


图 8-39 焊接吊车桁架的下弦节点

（2）吊车桁架节点板的自由边宽厚比 l/t，应小于或等于 $\frac{912}{\sqrt{f_y}}$（f_y—钢材的屈服强度，以 N/mm^2 计），各类钢材的 l/t 值为：

对 Q235 钢 $l/t \leqslant 60$

对 Q345 钢 $l/t \leqslant 49$

对 Q390 钢 $l/t \leqslant 46$

对 Q420 钢 $l/t \leqslant 44.5$

当超过上述限值时，应在自由边设加劲板补强（图 8-40）。

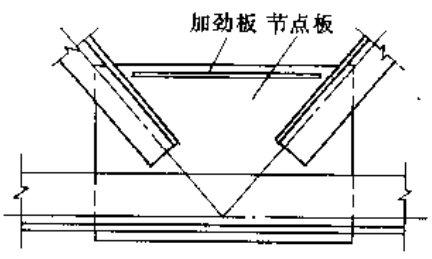


图 8-40 吊车桁架节点板自由边用加劲肋加强

8. 吊车桁架杆件的拼接接头，应采用等强度连接并使传力平顺，拼接的位置应设在杆件内力较小处。当桁架跨度较大，其重量或长度超过运输限界而须采用现场拼接时，宜优先考虑采用铆钉或高强度螺栓连接，拼接位置应设在受力较小节间的节点附近。

9. 吊车桁架的节点构造，如图 8-41 所示。

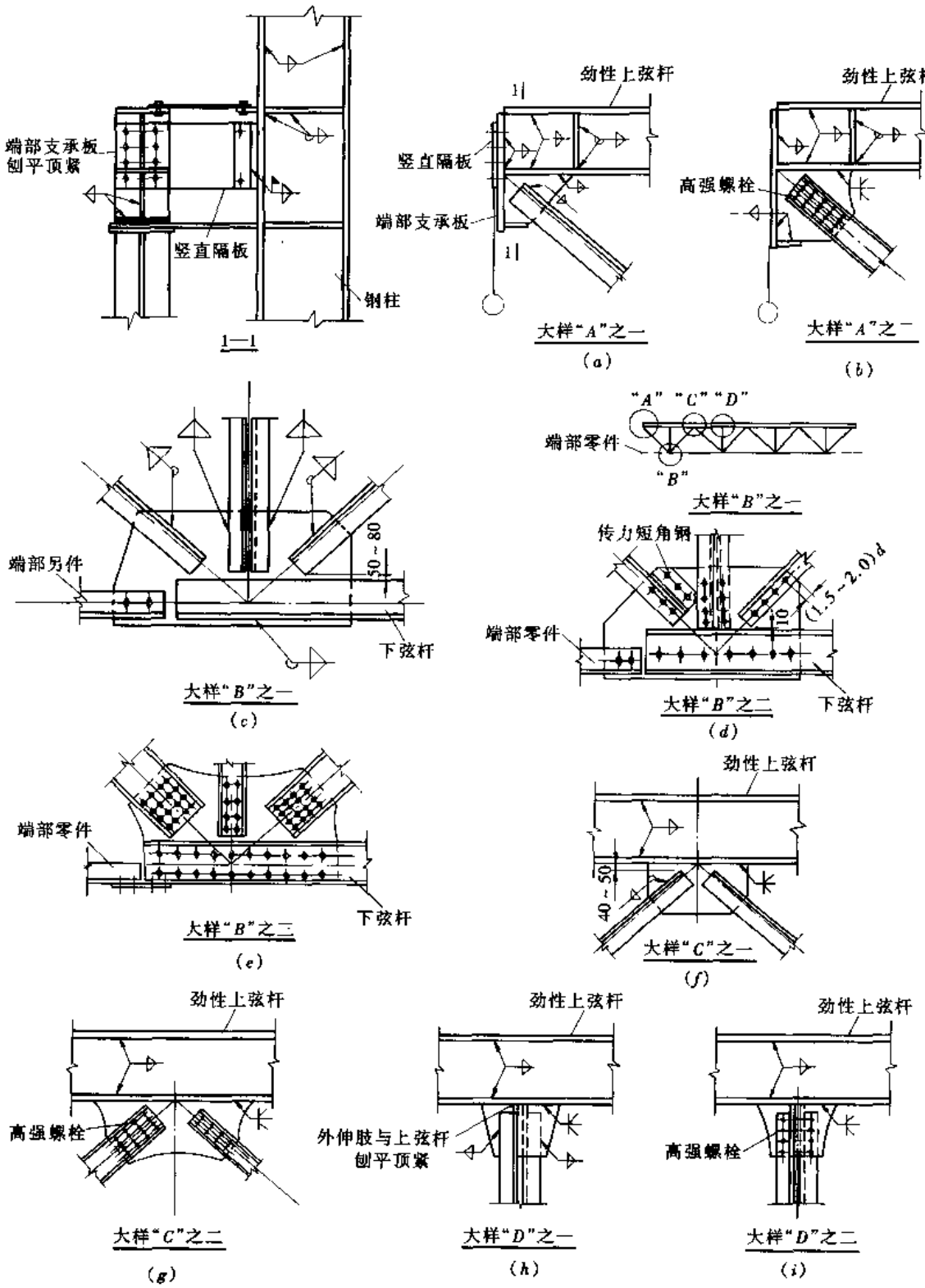


图 8-41　吊车桁架连接的节点

(a)焊接;(b)铆接或高强度螺栓连接;(c)焊接;(d)铆接或高强度螺栓连接(用于一般桁架);(e)铆接或高强度螺栓连接(用于重型桁架);(f)焊接;(g)铆接或强度螺栓连接;(h)焊接;(i)铆接或高强度螺栓连接

10. 为保证桁架下弦的稳定性，应增设下弦端部与柱连接的零杆，此杆件可按长细比 $\lambda \leqslant 200$ 选择截面。

11. 为了承受由于轨道与吊车梁中心偏差面引起的扭矩，通常在桁架劲性上弦杆设有垂直支撑处按构造设置相应的抗扭横隔。抗扭横隔可采用角钢（图 8-42 和图 8-43），也可采用钢板，其板厚通常为 8mm。

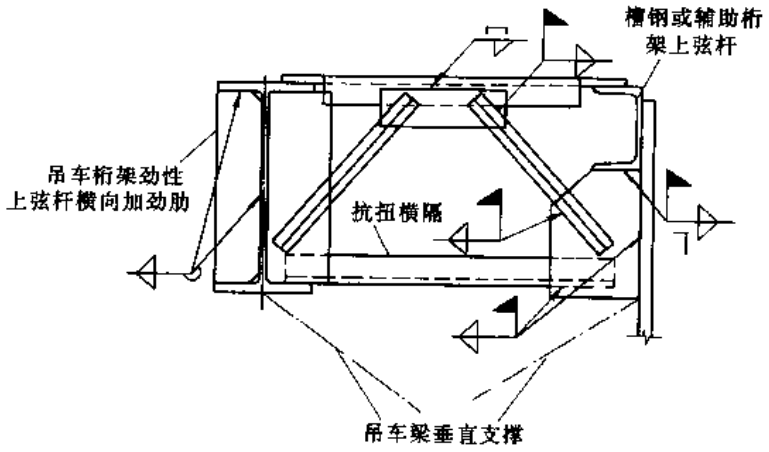


图 8-42 边列吊车桁架的抗扭横隔

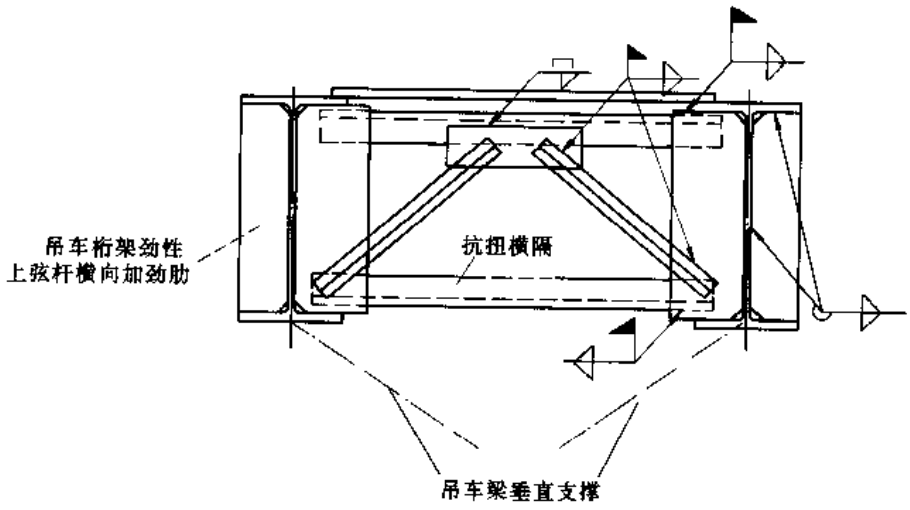


图 8-43 中列吊车桁架的抗扭横隔

8.7 箱形焊接吊车梁

8.7.1 概况

1. 随着工业生产发展的需要，重型工业厂房趋向于采用大跨度、大柱网、大吨位吊车，以满足工业生产的灵活性。有些厂房的工艺布置要求在纵、横跨连接处将纵跨吊车梁悬臂伸至横跨。此时，要求吊车梁在竖向荷载和水平荷载作用下都有很好的刚度和受力状态，显然焊接工字形吊车梁就不能满足此要求，因为当垂直荷载作用下，工字形吊车梁的整个截面能参加工作，但由偏心和扭转产生的水平弯矩作用下，主要由梁上翼缘承受这方面的应力，并且吊车水平荷载作用在上翼缘时，同样会由于偏心面产生扭矩，因此在这样

复杂的工作条件下，单腹板的吊车梁就不能适应这种情况。实践调查证明，在使用中重型厂房的大吨位重级工作制吊车梁，使用一段时间后，在上翼缘发现有裂缝、扭曲和凹坑等情况。由此国内外对该类吊车梁建议设计成焊接双腹板的箱形吊车梁，因为它在竖向荷载和水平荷载作用下都有很好的刚度，而且在扭矩的作用下，也能很好的工作。

2. 根据国内使用箱形吊车梁的经验证明，箱形梁在受力性能上比单腹板梁要好。对于在两个腹板平面上都有吊车荷载时，按双侧受荷设计，梁的全部截面参加工作；但在实际中经常是一侧受荷，另一侧梁处于低应力状态下工作。箱形梁除了具有较好的竖向和水平刚度外，还具有很好的抗扭刚度，因而梁受吊车轨道偏心所产生的扭矩影响较小。箱形梁一般比单腹板梁的高度要小，从而增加净空，这是因为箱形梁一般有较大的梁宽。箱形梁若在双腹板只承受由一条轨道传下的吊车荷载时，它与单腹板工字形梁相比用钢梁要大一些，对两个腹板平面上都有吊车荷载的箱形梁，尤其使用较高强度的钢材时，则双腹板的总厚度不一定超过单腹板梁的厚度，这是因为在轮压作用下腹板中出现局部压应力情况较少，因此显著地减轻腹板的工作程度。而且梁中受压上翼缘的工作状况有很大的改善，腹板上部和上翼缘的焊缝不受吊车轮压的直接影响，吊车轮压直接传至横隔板上。这样它可以节约钢材5%～20%（随跨度与吊车吨位的变化）。但是箱形梁施工制造方面必须选择合理的装配工序与焊接工艺，以免在箱形结构内聚集很大的焊缝收缩应力并产生很难校正的残余变形。

8.7.2　设计的一般规定

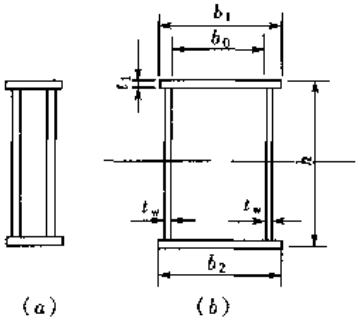


图8-44　箱形吊车梁的截面型式
（a）窄箱形吊车梁；
（b）宽箱形吊车梁

1. 焊接箱形吊车梁有窄箱形吊车梁和宽箱形吊车梁两种：

（1）窄箱形吊车梁一般也可称为双腹板吊车梁，即由两块腹板组成的工字形吊车梁（图-44a），梁上只有一条吊车轨道的荷载，适用于轮压很大的特重级吊车梁或悬臂吊车梁等情况。

（2）宽箱形吊车梁适用于中列柱两侧跨间内均有较大吨位的吊车，将两个等高的工字形吊车梁用上、下盖板连成封闭截面整体梁（图8-44b），轨道对准两块腹板中心上的吊车轮压（中列柱）或一条轨道对准一块腹板中心上的吊车轮压及另一块腹板主要承受屋盖、墙架支柱传来的荷载（边列柱）。在不对称竖向荷载作用下，其整个截面参加抗扭工作。

（3）箱形吊车梁可以不需较大截面的厚板焊接，而采用较薄的低钢号钢板作盖板，较为经济合理，是目前实际采用的箱形梁中较为主要的型式。

2. 简支箱形吊车梁的高度 h 可参照8.4.2第2条选择，一般取梁跨度 l 的 $\frac{1}{8}$～$\frac{1}{12}$；梁腹板中距的宽度 b_0 值可取为（0.6～0.8）h 或为中列柱两侧的轨距，上翼缘板应外伸180～200mm，以面定轨道连接用，但不宜大于 $15t_1$（Q235钢），$12.4t_1$（Q345钢），$11.6t_1$（Q390钢）或 $11.2t_1$（Q420钢）t_1 为上翼缘板厚度。下翼缘板为了自动焊的需要，应外伸60mm左右。

3. 箱形梁的腹板与翼缘板均可采用较薄的板。一般腹板可为8～12mm；翼缘板可为

12～20 毫米厚。腹板的高厚比 h_0/t_w 宜控制在不大于 250（Q235 钢）或 205（Q345 钢）。当两侧竖向荷载相差较大时，腹板可采用两种厚度。

当梁的高度很高时，应做成变高度的变截面梁，梁端部高度应按抗剪计算确定，并不宜小于 $0.5h$，变截面的范围在靠近梁端部，约为梁全长的 1/6（图 8-45）。

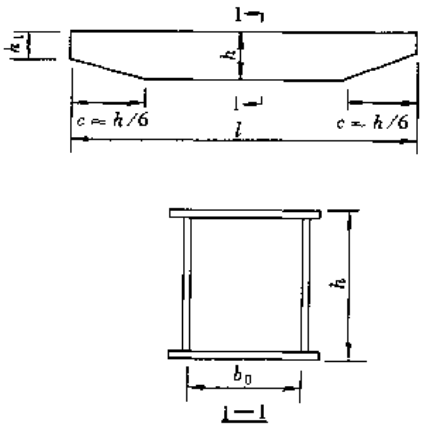


图 8-45 箱形吊车梁的截面变化示意图

4. 箱形吊车梁根据抗扭刚度的需要，应在梁端部设置端支撑，并沿梁的长度方向按间距约为 $l/10$ 设置刚性横隔，横隔可用镶有加劲边的钢板（图 8-46a）或用角钢加劲（图 8-46b）制成。刚性横隔可用 Q235 钢制作，与上翼缘板和腹板的连接可用焊接；但与下翼缘连接应考虑疲劳敏感，宜采用高强度螺栓或铆钉连接。而板束间的接触面可仅除锈而不作表面处理，待螺栓拧紧后用油漆封闭。

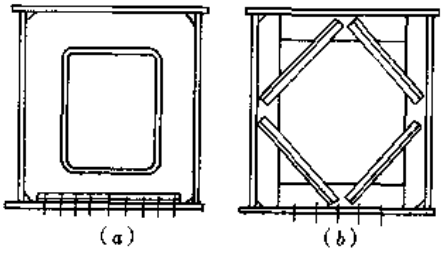


图 8-46 箱形吊车梁的刚性横隔

8.7.3 荷载组合、截面强度、稳定和挠度计算

1. 对于仅承受一条吊车轨道的吊车荷载或同时承受墙架、屋盖等荷载的边列柱箱形吊车梁，其荷载种类、荷载组合和相应各种系数等均可参照焊接工字形吊车梁的规定考虑。

2. 对于承受两条吊车轨道的吊车荷载的中列宽箱形吊车梁，其吊车荷载和荷载组合可按表 8-11 进行计算，亦可按实际生产确定。

箱形吊车梁荷载组合表 表 8-11

计算项目	吊车组合台数				吊车组合折减系数	竖向轮压的动力系数	荷载分项系数 γ_0
	左侧		右侧				
	竖向荷载	水平荷载	竖向荷载	水平荷载			
最大弯矩、最大剪力	2 台	1 台	2 台	1 台	0.9（仅竖向荷载）	1.1	1.4
扭矩	取任一侧 2 台较大吊车的竖向和水平荷载				—	1.1	1.4
竖向挠度	2 台	—	2 台	—	0.9	—	1.0
水平挠度	—	1 台	—	1 台	—	—	1.0
疲劳（仅重级工作制吊车）	1 台	—	1 台	—	—	—	1.0

3. 箱形吊车梁的正应力、剪应力、局部压应力应按下列规定计算：

（1）正应力计算：

$$\sigma = \eta_s\left(\frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}}\right) \leqslant f \tag{8-59}$$

$$\sigma = 1.1\left(\frac{M'_x}{W_{nx}} + \frac{M'_y}{W_{ny}}\right) \leqslant f \tag{8-60}$$

（2）剪应力计算：

1）当按整体计算剪力时，

$$\tau = 1.3\frac{V_{max}S}{I_x\Sigma t_w} \leqslant f_v \tag{8-61}$$

2）当按较大侧腹板计算剪力时，

$$\tau = \frac{V_1 S}{I_x t_w} \leqslant f_v \tag{3-3}$$

3）当按受扭矩最大一侧腹板计算剪力时，

$$\tau = 1.3\frac{V_{max}S}{I_x t_w} \leqslant f_v \tag{8-62}$$

（3）局部压应力计算：

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_z} \leqslant f \tag{3-4}$$

式中　M_x、M_y——梁计算截面处的最大竖向和横向弯矩；

M'_x、M'_y——梁计算截面处扭矩最大时的竖向和横向弯矩；

W_{nx}、W_{ny}——梁计算截面对 x 轴和 y 轴的净截面横量；

V_{max}——计算截面处的最大剪力；

V_1——受荷较大一侧计算截面处的最大剪力；

η_B——考虑因梁的左右两侧最大竖向荷载不等及梁存在弯扭而产生附加正应力的增大系数，一般取 1.05；当两侧荷载很接近时，则取为 1.0；

Σt_w——两侧腹板的总厚度；

I_x——计算截面的毛截面惯性矩；

S——计算剪应力处上部毛截面对中和轴的面积矩；

ψ、F、l_z——按 8.4.3 第 3 条的规定采用。

当箱形吊车梁的两侧吊车轮压相差较大或腹板厚度不同时，宜分别按各侧工字形截面计算剪应力。

4. 为保证箱形吊车梁的整体稳定性，其截面尺寸（图 8-44b）应满足 $h/b_0 \leqslant 6$，且 l/b_0 不应超过下列数值：

Q235	95
Q345	65
Q390	57
Q420 钢	53
其他钢号	95（$235/f_y$）

符合上述规定的简支箱形吊车梁，可不计算整体稳定性。

5. 箱形吊车梁的腹板，除箱内设有抗扭横隔外，一般尚应在箱内横隔板之间的腹板上设置单侧横向加劲肋。当腹板的高厚比 h_0/t_w 大于 $170\sqrt{235/f_y}$ 时，还需在箱外距上盖板边缘 h_1 处设置纵向加劲肋，h_1 应在 $h_0/5 \sim h_0/4$ 范围内。

（1）腹板的局部稳定计算可分别按两侧为焊接工字形吊车梁的有关要求进行计算。纵、横向加劲肋所要求的惯性矩均按单侧加劲肋计算，加劲肋按构造布置时应与箱内抗扭

横隔相适应，一般加劲肋的间距不大于 750mm。此时可同时设置箱外单侧短的横向加劲肋。

（2）加劲肋可采用钢板或型钢，其截面构造尺寸可参照焊接工字形吊车梁的有关要求确定。

6. 箱形吊车梁的受压翼缘板除与箱内抗扭横隔相连外，其局部稳定性尚应根据两腹板之间的宽度 b_0 与其厚度 t_1 之比（图 8-43*b*），满足下列要求：

Q235 钢　　$b_0/t_1 \leqslant 40$

Q345 钢　　$b_0/t_1 \leqslant 33$

Q390（Q420）钢　　$b_0/t_1 \leqslant 31$（30）

其他钢　　$b_0/t_1 \leqslant 40\sqrt{\dfrac{235}{f_y}}$

（1）当 b_0/t 大于上列数值时，需在受压翼缘板中间设置一道或两道纵向加劲肋，其间距按等分受压翼缘板的宽度确定，此时 b_0 取为腹板与纵向加劲肋或纵向加劲肋间的翼缘板宽度。

（2）当受压翼缘板宽厚比 b_0/t_1 为 60～120（Q235 钢）或 50～100（Q345 钢）时在板中间设置一道纵向加劲肋。当 b_0/t_1 为 120～180（Q235 钢）或 100～150（Q345 钢）时受压翼缘板三等分设置二道纵向加劲肋。

（3）纵向加劲肋对自身水平轴的惯性矩 I_z 应满足下列要求：

1）当设有一道纵向加劲肋时，

$$I_z \geqslant 0.12\xi_1 b_0 t_1^3 \tag{8-63}$$

2）当设有两道纵向加劲肋时，

$$I_z \geqslant 0.12\xi_2 b_0 t_1^3 \tag{8-64}$$

式中　b_0——受压翼缘板的宽度（即腹板间的距离）；

t_1——受压翼板的厚度；

ξ_1、ξ_2——系数，按表 8-12 采用。

系　数　ξ_1、ξ_2　　表 8-12

β	ξ_1 或 ξ_2	a/b_0												
		0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0.05	ξ_1	3.4	5.59	8.05	10.75	13.58	16.67	19.9	23.36	26.95	30.28	30.28	30.28	30.28
	ξ_2	7.39	11.53	16.30	21.70	27.55	33.99	40.93	48.30	56.00	64.38	72.97	82.04	91.54
0.10	ξ_1	3.69	6.11	8.85	11.89	15.14	18.72	22.48	26.56	30.83	35.43	35.43	35.43	35.43
	ξ_2	8.04	12.68	18.10	24.29	31.07	38.60	46.76	55.46	64.70	74.75	85.13	96.16	107.74
0.15	ξ_1	3.97	6.62	9.65	13.04	16.70	20.77	25.07	29.76	34.72	40.03	40.03	40.03	40.03
	ξ_2	8.68	12.83	19.90	26.88	34.60	43.21	52.59	62.62	73.40	85.12	97.3	110.28	123.94
0.20	ξ_1	4.25	7.13	10.45	14.18	18.26	22.82	27.65	32.96	38.61	44.63	51.04	51.28	51.28
	ξ_2	9.33	14.98	21.70	29.48	38.12	47.82	58.42	69.79	82.10	95.50	109.47	124.38	140.14

注：表中　a——箱内刚性横隔的间距；

b_0——受压翼缘板的宽度；

$\beta = \dfrac{\text{纵向加劲肋的假定面积 } A_2}{\text{翼缘板截面积 } b_0 t_1}$，$\beta$ 值应小于 0.2；纵向加劲肋的截面积 A_2，可先假定为 $0.1 b_0 t_1$，进行试算后再调整。

选用的纵向加劲肋截面面积应与假定的面积一致或接近。

纵向加劲肋的截面可用轻型工字钢或槽钢、T形钢（由工字钢切成），其与上盖板的连接宜用较薄的连续焊缝。纵向加劲肋在箱内穿过刚性抗扭横隔处可将横隔预开孔，装配后再补焊补强板。

7. 箱形吊车梁内刚性横隔截面的惯性矩 I_d，应按梁的刚度与变形分别满足下列公式的要求：

$$I_d \geqslant \frac{I_x}{500} \tag{8-65}$$

$$I_d \geqslant \frac{1000}{96}\frac{Pb_0^2}{E}\left(1+\frac{h}{b_0}\right) \tag{8-66}$$

式中　I_x——箱形吊车梁跨中截面对 x 轴的毛截面惯性矩；

P——吊车最大轮压标准值（不计动力系数）；

h——梁的总高度；

E——钢材的弹性模量。

8. 箱形吊车梁的竖向挠度和水平挠度均可参照焊接工字形吊车梁的公式计算，其中 I_x、I_y 均按箱形全截面计算。由于箱形吊车梁的水平刚度很大，故水平挠度易控制在容许值以内。

8.7.4　构造要求

1. 箱形吊车梁的腹板与上盖板的连接应采用自动焊，要求焊透的T形连接焊缝；腹板与下盖板的连接一般采用单面剖口的自动焊，而在背面（箱内）用手工焊补焊焊根。为了满足抗疲劳的要求，其焊接质量应不低于二级焊缝标准。

2. 为保证箱形吊车梁的质量，一般应在工厂制成整体、整运、整根安装。这样梁的制作、装配、吊装及运输的要求较高。梁的刚度较大，在制造中应严格控制梁的变形，以免组装后无法校正。

3. 为了便于中列宽箱形吊车梁的整体安装，设计时应在两端预留安装口，其宽度可比柱截面高度大 100～150mm，安装口深为 800mm（当梁由上向下对柱斜套安装时）或半柱宽加 300mm（当梁由上向下对柱平套安装时）。待梁就位后需用上、下盖板将安装口封闭，其连接宜用高强度螺栓。在上封板上可留直径为 500mm 的检修人孔（用活动盖板或临时盖板盖上）。抗扭端撑一般在梁就位后及安装口封闭前安装。

4. 箱形吊车梁的纵向加劲肋截面可用轻型工字钢、H型钢、槽钢或T形钢（可用H型钢切成）。其与上盖板的连接宜用焊脚尺寸较小的连续焊缝。纵向加劲肋在箱内穿过刚性抗扭横隔处可将横隔预开孔。装配后再补焊补强板。

5. 箱形吊车梁的端支座一般均设计成平板支座。当支座处剪力较大时，宜采用十字形端加劲肋。

8.8　壁行吊车梁和悬挂式吊车梁

8.8.1　壁行吊车梁

1. 壁行吊车梁是承受一种可移动的悬臂吊车的梁，一般为重型厂房配合大吨位吊车

使用，通常用在冶炼、铸造、重型金工等厂房。目前所用起重量 Q 为 1t、3t、5t、7.5t 及 10t，悬臂长度则由工艺提供。因此，根据吊车吨位和悬臂长度及轨顶标高来确定壁行吊车对柱所产生的弯矩影响。

壁行吊车梁一般可分为分离式壁行吊车梁和整体式壁行吊车梁（即箱形梁）两种。

（1）分离式壁行吊车梁由上梁（水平梁）承受壁行吊车的上水平轮轮压和下梁（由垂直、水平梁组成）承受壁行吊车的垂直和下水平轮轮压以及刚臂等组成（图 8-47）。

（2）整体式壁行吊车梁　当壁行吊车梁支承在柱上而柱距大于 12m 且上、下梁的挠度太大时，可采用整体式梁，但不太经济。

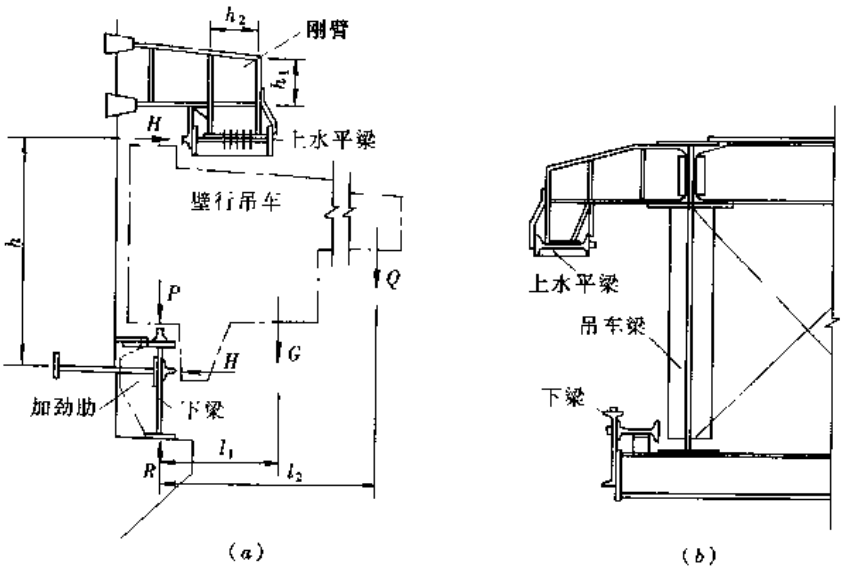


图 8-47　壁行吊车梁的组成

（a）固定在柱上；（b）固定在吊车梁上

2. 分离式壁行吊车梁的跨度一般宜采用 6m。当跨度为 12m 或大于 12m 且上水平梁的挠度控制在限值以下有困难时，可采用吊杆等措施或采用整体式梁。

3. 壁行吊车的轮压一般可按吊车样本或工艺提供，也可按吊车起重量、吊车的自重按下列公式求得吊车的竖向和水平压力：

（1）竖向压力，

$$R = Q + G \tag{8-67}$$

（2）水平压力，

$$H = \frac{Ql_2 + Gl_1}{h} \tag{8-68}$$

式中　Q——起吊重量及小车重量；

G——吊车重量；

l_1——由吊车重心至下竖向梁中心的距离；

l_2——吊重点位于最大悬臂端时，由吊重点至竖向梁中心的距离；

h——上、下水平梁中心线间距离。

（3）如果吊车为两个轮子时，则一个轮子的轮压为：

竖向轮压　$P=\frac{R}{2}$

水平轮压　$T=\frac{H}{2}$

4. 梁的荷载及吊车台数应按实际情况考虑。计算强度时，应考虑动力系数（中级工作制为1.05，重级工作制为1.1）和荷载分项系数（$\gamma_G=1.2$、$\gamma_Q=1.4$）。计算梁与柱的水平连接和梁与刚臂的连接时，其水平荷载的增大系数 α_T 宜采用1.5。

5. 壁行吊车梁应按下列规定进行设计：

（1）上水平梁除承受吊车的水平轮压外，尚应考虑梁的自重所产生的竖向荷载及水平轮对轨道竖向摩擦偏心荷载的作用，故宜按双向受弯构件进行计算。其截面可采用图8-48 *d*、*e*、*f* 的形式。上梁截面的正应力可按下式简化计算：

$$\sigma=\pm\frac{M_y}{W_{ny}}\pm\frac{M_x}{W'_{nx}}\leqslant f \tag{8-69}$$

式中　M_y——梁计算截面的最大水平弯矩；

M_x——梁的自重及竖向摩擦力引起梁计算截面的竖向弯矩，可近似取 $M_x=0.2M_y$；

W_{ny}——水平梁截面对 *y* 轴（竖轴）的净截面模量（当轨道与梁焊接时，可计入轨道截面）；

W'_{nx}——水平梁截面对 *x* 轴（水平轴）的净截面模量。

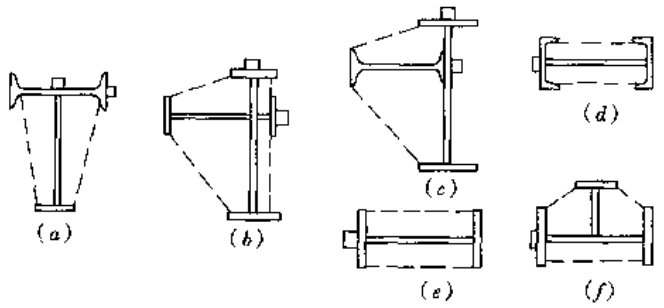


图8-48　壁行吊车梁的截面型式

（2）下梁承受壁行吊车的竖向与水平轮压，竖向荷载还应考虑由梁自重而产生的竖向弯矩，按公式（8-69）计算正应力，下梁的截面可采用图8-48（*a*）、（*b*）、（*c*）的形式。

由于设置有水平梁，故一般可不再设置制动结构，梁的整体稳定性也可不计算。下梁的横向加劲肋应将垂直、水平梁相连。

除上述外，上、下梁的强度、稳定性、挠度计算，加劲肋的设置，以及重级工作制吊车梁的疲劳计算及其设计、构造均可参照焊接工字形吊车梁的有关规定进行。

（3）分离式壁行吊车梁上、下梁的挠度应严格控制其限值，尤其是上梁竖向刚度较小，要考虑吊车轮的卡轨或脱轨而使壁行吊车无法使用。

1）梁的容许挠度值可参照第8.4.5条的规定采用。下梁的竖向与水平挠度可分别计算。

2）除梁本身外，还应严格控制梁的支承结构间的相对变位，或采取构造措施使梁支承在相对变位较小的相邻支承结构上。注意计算水平挠度时，其吊车水平荷载应按8.3.2条第2款1）2）的公式计算。

6. 壁行吊车梁的连接和构造应符合下列要求：

（1）下梁采用组合截面时，竖梁与水平梁的连接可采用通长连续焊缝（图8-48*a*、*b*）

或高强度螺栓（图 8-48*c*）。

（2）下梁与柱传递水平力的连接宜采用高强度螺栓，当梁为轻、中级工作时，也可采用焊接。

（3）上梁与刚臂的连接宜采用高强度螺栓，并应保证有足够的抗扭刚度。为此，梁端应有单侧抗扭支承端加劲肋（图 8-47），并尽可能将梁的翼缘板、腹板与刚臂可靠地连牢。

7. 支承上水平梁的刚臂一般采用双槽钢式（图 8-49），当受力较大或连接构造需要时，也可采用焊接工字形截面（图 8-47），但 h_1 应大于或等于 h_2。刚臂与柱及上水平梁的连接宜优先采用高强度螺栓。刚臂的强度和挠度计算可按悬臂梁设计，刚臂与柱的连接必须有可靠的保证。

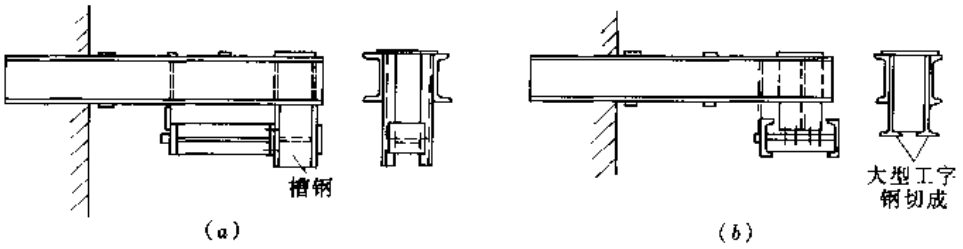


图 8-49 槽钢钢臂示意图

8. 壁行吊车梁的轨道一般采用 50×50 或 60×60 的方钢。当吊车为重级工作制或中级工作制而起重量为 10t 时，吊车轨道可采用吊车轨 QU70 或 QU80，方钢或 QU70 钢轨与梁的连接可采用间断焊接或采用连接短角钢（图 8-51）；采用 QU80 吊车轨与梁的连接应采用压板。

梁的车挡应设置在下梁的竖向梁端部，车挡与梁的连接宜采用高强度螺栓。

梁的连接节点构造见图 8-50、图 8-51。

8.8.2 悬挂式吊车梁

1. 悬挂式吊车梁通常是采用热轧的工字钢悬挂于屋盖承重结构或独立支柱、支架上。它可作为悬挂式单梁吊车的吊车梁，也可作为单轨吊车的轨道梁，比较广泛地用于轻型厂房、检修桥式吊车的轨道梁。其起重量一般为 0.25～10t。

2. 悬挂式吊车梁一般为直线梁，其中轨道梁可分为直线梁和弧形梁，直线梁可按材料、安装及支承条件设计成简支梁或双跨、三跨的连续梁。

梁所选用的工字钢型号、弧形梁的曲率半径（要考虑吊车行驶所允许的最小半径）、吊车起重量、吊车台数及车挡位置等资料应先由工艺设计人员提供，结构设计人应验算工字钢的强度、稳定性和挠度。

3. 悬挂式吊车梁的吊车荷载最多按两台或按实际台数（按工艺所提台数）设计。而轨道梁一般只考虑一台单轨吊车或电动葫芦的作用，并可简化为一个集中荷载作用在梁上进行计算，梁的自重按均布荷载计算。

（1）计算梁时，对电动梁式吊车或电动葫芦的动力系数为 1.05，对手动吊车的动力系数则为 1.0。

（2）凡梁直接承受吊车轮行驶者，则计算强度、稳定性和挠度时，钢材的强度设计值和截面惯性矩应分别乘以磨损折减系数 0.9。

（3）梁的挠度值不应超过跨度的 1/500，手动或电动葫芦轨道梁的挠度值不应超过跨

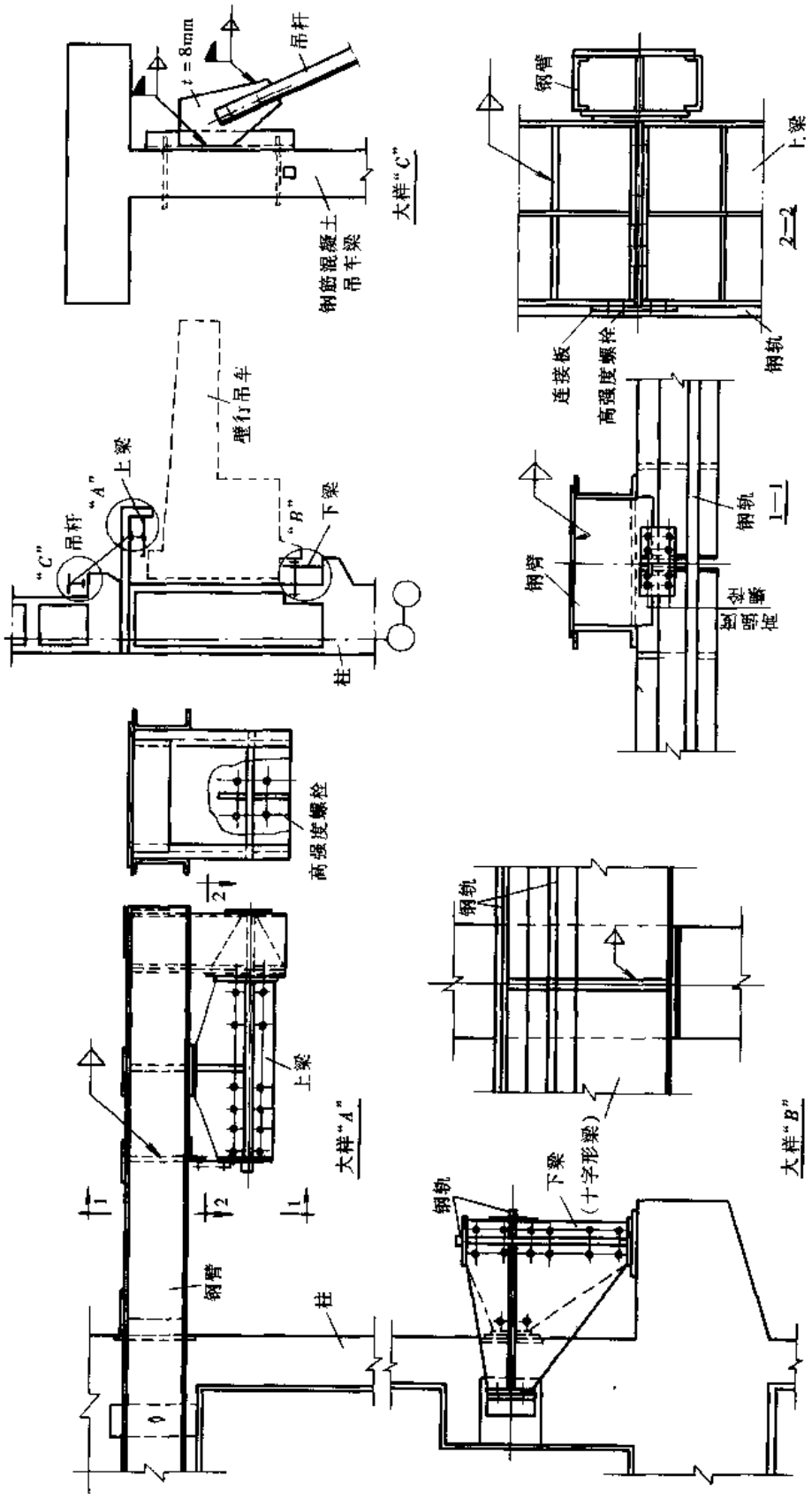


图 8-50　壁行吊车与柱的连接节点

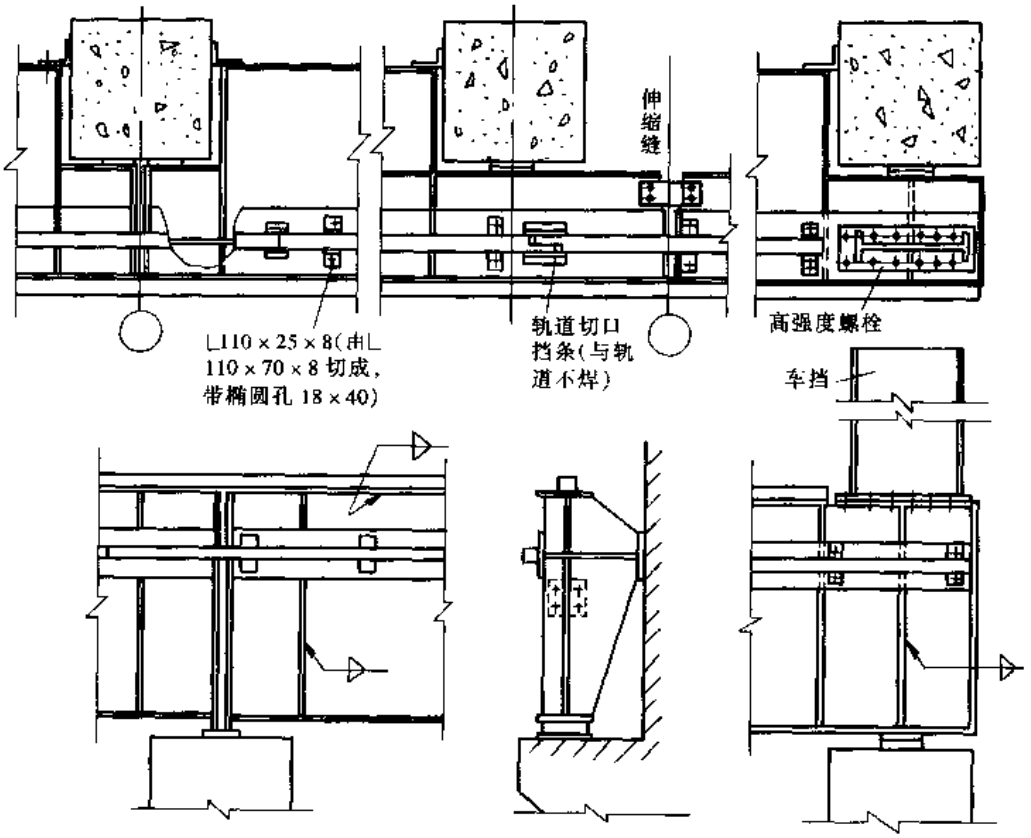


图 8-51 壁行吊车梁与轨道车挡的连接节点

度的 1/400。当轨道梁为悬臂梁时，悬臂端的挠度值不应超过悬臂长度的 1/200。

4. 设有悬挂式吊车梁的屋盖承重结构，除应计入吊车荷载外，并应在节点构造和支撑布置中考虑其影响。

5. 当轨道梁的跨度较大或有伸出悬臂段时，应考虑梁的整体稳定性，在跨中或悬臂段的上翼缘布置水平支撑。当梁有较长的柔性吊杆时，则宜设置垂直支撑。对于悬臂梁的悬挑长度不宜过大，因其整体稳定差，如工艺需要时宜不超过 1.5 米。

计算悬臂部分梁的整体稳定时，可按第 3.1.3 条第 5 款表 3-3 中公式（3-6）及表 3-4 中公式中，求得整体稳定系数 φ_b 进行计算。

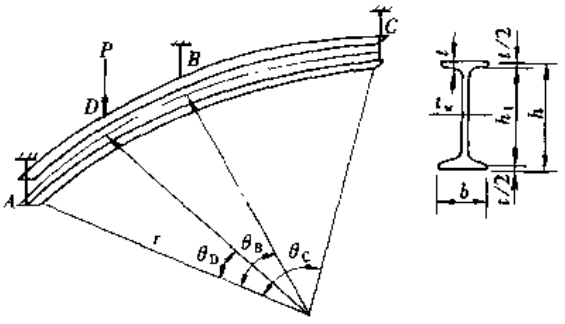


图 8-52 弧线梁的计算简图

6. 对于多支点的弧线梁在集中荷载及均布荷载作用下为受弯扭的开口薄壁构件，其精确计算较为复杂。为简化计算起见，多于三个支吊点的弧线梁可假定按三个支点考虑，并在计算时将自重的均布荷载先略去不计，待弧线梁内力求得后再乘以自重系数（可取 1.05）。弧线梁的内力计算可近似地按下列公式计算（图 8-52）：

（1）A 点的内力：

$$
\left.\begin{aligned}
&M_A = 0\\
&M_A^K = 0\\
&B_A = 0\\
&R_A = -\delta_1 P\\
&V_A = \delta_1 P\\
&\overline{M}_A^K = -\overline{\overline{M}}_A^K\\
&\overline{\overline{M}}_A^K = \frac{Pr}{(K^2+1)\ \mathrm{sh}K\theta_C}\times\Big\{\ [\mathrm{sh}K\ (\theta_C-\theta_D)\ -K\sin\ (\theta_C-\theta_D)\\
&\quad -\delta_1\ (\mathrm{sh}K\theta_C - K\sin\theta_C)]\ -\delta_2\ [\mathrm{sh}K\ (\theta_C-\theta_B)\ -K\sin\ (\theta_C-\theta_B)]\Big\}
\end{aligned}\right\}\qquad (8\text{-}70)
$$

（2）D 点（AB 弧线的中点）的内力：

$$
\left.\begin{aligned}
&M_D = \delta_4 Pr\\
&V_D = \delta_1 P\quad V'_D = \delta_2 P\\
&M_D^K = \delta_1 Pr\ (1-\cos\theta_D)\\
&\overline{M}_D^K = M_D^K - \overline{\overline{M}}_D^K\\
&\overline{\overline{M}}_D^K = \overline{\overline{M}}_A^K \mathrm{ch}K\theta_D + \frac{Pr}{K^2+1}\times\delta_1\ (\mathrm{ch}K\theta_D - \cos\theta_D)\\
&B_D = \frac{r}{K}\overline{\overline{M}}_A^K \mathrm{sh}K\theta_D + \frac{Pr^2}{K\ (K^2+1)}\times\delta_1\ (\mathrm{sh}K\theta_D - K\sin\theta_D)
\end{aligned}\right\}\qquad (8\text{-}71)
$$

（3）B 点的内力：

$$
\left.\begin{aligned}
&M_B = Pr\ (\delta_1\sin\theta_B - \sin\theta_D)\\
&V_B = (\delta_2-\delta_3)\ P\quad V'_B = \delta_3 P\\
&M_B^R = Pr\ [\delta_1\ (1-\cos\theta_B)\ -\ (1-\cos\theta_D)]\\
&\overline{M}_B^K = M_B^K - \overline{\overline{M}}_B^K\\
&\overline{\overline{M}}_B^K = \overline{\overline{M}}_A^K \mathrm{ch}K\theta_B + \frac{Pr}{K^2+1}\delta_1\ (\mathrm{ch}K\theta_B - \cos\theta_B)\ -\frac{Pr}{K^2+1}\ (\mathrm{ch}K\theta_D - \cos\theta_D)\\
&B_B = \frac{r}{K}\overline{\overline{M}}_A^K \mathrm{sh}K\theta_B + \frac{Pr^2}{K\ (K^2+1)}\times\delta_1\ (\mathrm{sh}K\theta_B - K\sin\theta_B)\\
&\quad -\frac{Pr^2}{K\ (K^2+1)}\times\ (\mathrm{sh}K\theta_D - K\sin\theta_D)
\end{aligned}\right\}\qquad (8\text{-}72)
$$

式中　M——竖向弯矩；

V——剪力或支座左边的剪力；

V'——支座右边的剪力；

R——支座反力；

M^K——总扭转力矩；

$\overline{M}^K$——自由扭转力矩；

$\overline{\overline{M}}^K$——约束扭转力矩；

B——双力矩；

P——竖向集中荷载；

r——曲率半径；

δ_1、δ_2、δ_3、δ_4——剪力和弯矩系数，见表 8-13；

K——弯扭弹性特征系数，$K=\alpha r$（α 为弯扭特征，见表 8-14）；

θ——圆心角。

剪力和弯矩系数 δ_1、δ_2、δ_3、δ_4 表 8-13

θ	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	θ	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4
10°	0.3760	0.7500	0.1260	0.0328	80°	0.4680	0.7168	0.1848	0.3008
20°	0.3799	0.7479	0.1278	0.0660	90°	0.5000	0.7071	0.2071	0.3536
30°	0.3860	0.7455	0.1315	0.0999	100°	0.5411	0.6956	0.2367	0.4145
40°	0.3949	0.7423	0.1372	0.1351	110°	0.5947	0.6823	0.2770	0.4872
45°	0.4005	0.7401	0.1406	0.1533	120°	0.6667	0.6667	0.3334	0.5774
50°	0.4070	0.7378	0.1448	0.1720	130°	0.7673	0.6485	0.4158	0.6954
60°	0.4227	0.7320	0.1547	0.2114	140°	0.9172	0.6274	0.5446	0.8619
70°	0.4426	0.7252	0.1678	0.2539	150°	1.1645	0.6028	0.7673	1.1248

弧线曲梁的最大弯矩和双力矩均产生于 A、B 支吊点中部集中荷载作用处 D 点，故按下列公式计算 D 点的强度即可：

1）正应力，

$$\sigma_{\max}=\frac{M_D}{W_x}+\frac{B_D}{W_\omega}\leqslant f \tag{8-73}$$

2）剪应力：

在腹板中和轴处，

$$\tau=\frac{V_D S_x}{I_x t_w}+\frac{\overline{M}_D^K t_w}{I_k}\leqslant f_v \tag{8-74}$$

在腹板与翼缘相交处，

$$\tau=\frac{V_D b h_1}{4I_x}+\frac{\overline{M}_D^K t}{I_k}+\frac{\overline{\overline{M}}_D^K b^2}{4h_1 I_y}\leqslant f_v \tag{8-75}$$

式中 W_ω——截面扇性截面模量；

I_k——截面纯扭转时的惯性矩；

h_1、t_w、t、b 均如图 8-52 所示。

计算时剪力 V 值取左右两值中较大者。

热轧普通工字钢截面的扇性几何特性见表 8-14。

热轧普通工字钢的截面扇性几何特性（按 GB 706—88 计算） 表 8-14

工字钢型号	扇性惯性矩 I_ω (cm^6)	截面最远各点扇性面积 ω_{max} (cm^2)	扇性截面模量 W_ω (cm^4)	纯扭转时惯性矩 I_k (cm^4)	弯扭弹性特征 $\alpha=\sqrt{\frac{GI_k}{EI_\omega}}$ (cm^{-1})
I12.6	1490	21.19	70.32	4.223	0.03307
I14	2531	25.51	99.22	5.830	0.02981
I16	4825	32.22	149.8	8.277	0.02572
I18	8129	38.87	209.1	11.21	0.02307

续表

工字钢型号	扇性惯性矩 I_ω (cm^6)	截面最远各点扇性面积 ω_{max} (cm^2)	扇性截面模量 W_ω (cm^4)	纯扭转时惯性矩 I_k (cm^4)	弯扭弹性特征 $\alpha=\sqrt{\frac{GI_k}{EI_\omega}}$ (cm^{-1})
I20a	12979	46.11	281.5	14.55	0.02079
I20b	13703	47.01	291.5	17.60	0.02226
I22a	22523	55.86	403.2	20.03	0.01852
I22b	23660	56.85	416.2	23.85	0.01972
I25a	36507	67.33	542.2	25.29	0.01634
I25b	38257	68.46	558.8	30.11	0.01742
I28a	56672	79.67	711.3	31.60	0.01466
I28b	59257	80.95	732.0	37.60	0.01564
I32a	99318	97.36	1020	45.13	0.01324
I32b	103582	98.84	1048	53.42	0.01410
I32c	107953	100.3	1076	64.56	0.01519
I36a	153256	115.1	1331	55.68	0.01184
I36b	159552	116.8	1366	65.84	0.01262
I36c	166000	118.4	1402	79.21	0.01357
I40a	226597	134.0	1690	67.40	0.01071
I40b	235517	135.9	1733	79.70	0.01142
I40c	244642	137.8	1776	95.55	0.01227
I45a	372999	159.7	2336	93.24	0.009819
I45b	386944	161.8	2392	109.6	0.01045
I45c	401197	163.8	2449	130.2	0.01119
I50a	606461	187.0	3243	127.9	0.009018
I50b	628082	189.3	3317	147.2	0.009509
I50c	650163	191.7	3392	171.0	0.01007

注：计算时取 $G=79\times10^3N/mm^2$，$E=206\times10^3N/mm^2$

7. 悬挂式吊车梁与支承（或吊挂等）结构的连接应直接传力，减少偏心，防止松动，安装方便。通常采用普通螺栓并用双螺帽固定，连接在工字钢斜面上时应增设斜垫板，普通螺栓的直径不宜小于16mm，螺栓数量一般按构造要求采用每边两个，当为连续梁通过支承梁时则为4个，实际使用的螺栓直径和数量应按计算确定。计算时螺栓的抗剪强度设计值乘以折减系数0.8。计算时荷载与支吊反力均按作用在连接件的一侧考虑。

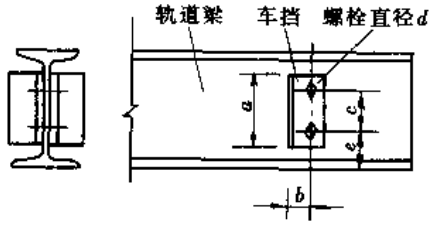


图8-53　轨道梁车挡的连接尺寸

8. 梁的截面尺寸除按计算确定外尚应满足吊车行驶装置的构造要求，弧形梁的弯曲度应满足手动单轨吊车或电动葫芦的最小曲率半径。

轨道梁的拼接位置宜设在距支座1/3～1/4跨度的范围内，腹板拼接宜采用对接焊缝，焊后应在吊车轮子行动范围内将焊缝表面磨平，上下翼缘宜采用拼接盖板。

9. 悬挂式吊车梁应按工艺要求的位置设置车挡，其连接形式和尺寸见图8-53和表8-15。

车 挡 尺 寸 表 8-15

工字钢型号	a	b	c	e	车挡的角钢	螺栓直径 d
I12.6	80	35	40	35	L63×6	10
I14	100	35	50	40		12
I16	100	45	50	45	L80×8	
I18	120	45	50	50		
I20	140	45	70	50		
I22	150	45	80	55		16
I25	150	45	80	60		
I28	150	55	80	65	L100×10	
I32	150	55	80	65		

10. 轨道梁与承重结构的连接节点如图 8-54 所示。

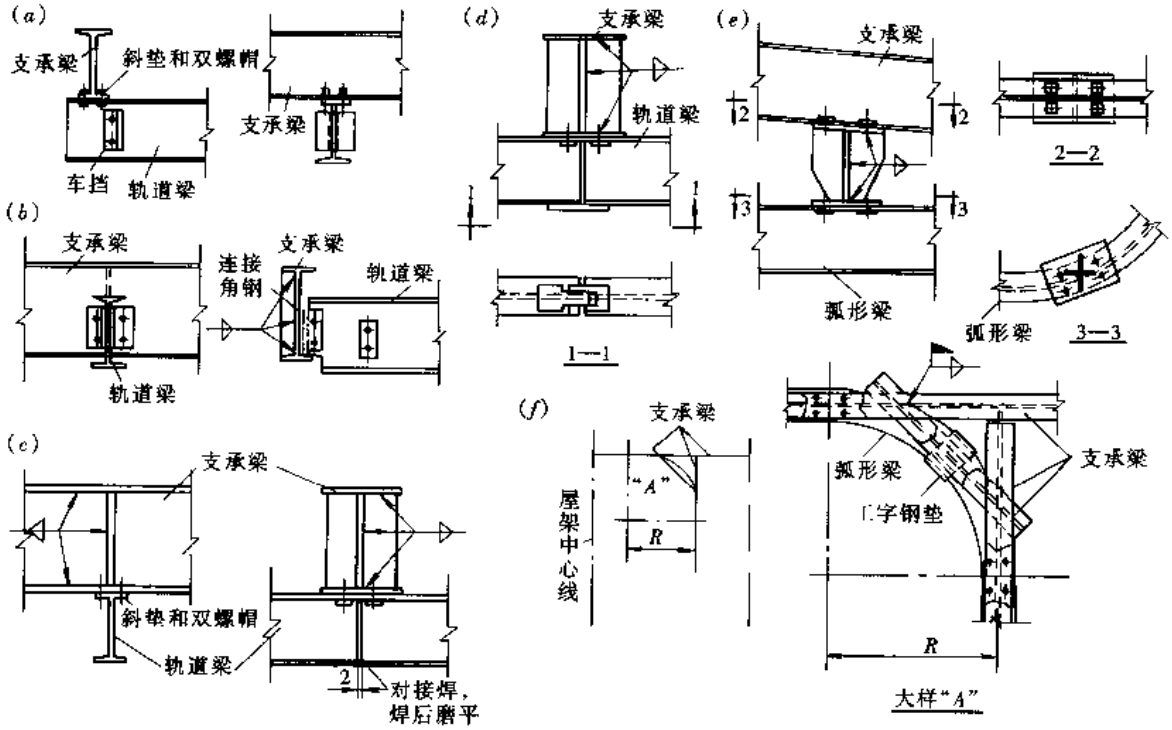


图 8-54 轨道梁与支承梁的连接节点

8.9 制动结构、辅助桁架及支撑

8.9.1 设计的一般规定

1. 制动结构一般可分为制动梁和制动桁架两种（图 8-55）。

（1）设置在边列柱吊车梁（或吊车桁架）的制动结构是由吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）、制动板和边梁（或辅助桁架的上弦杆）组成的制动梁，或由吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）、腹杆系统和边梁（或辅助桁架上弦杆）组成的制动桁架。

（2）设置在中列柱吊车梁（或吊车桁架）的制动结构是由相邻跨的两吊车梁上翼缘

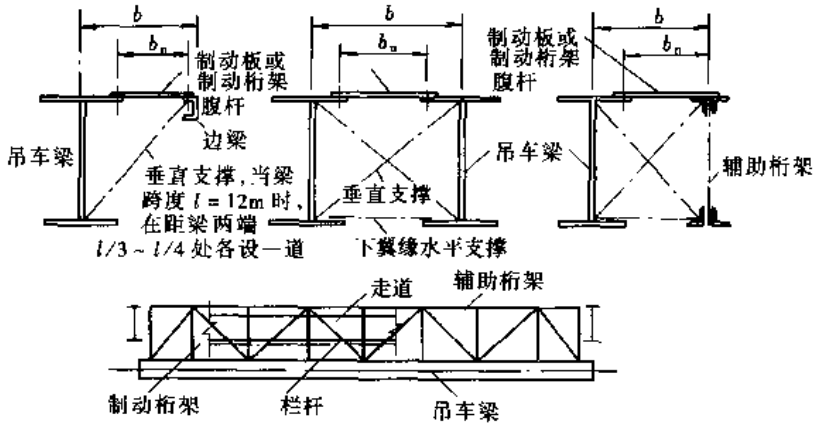


图 8-55　制动结构组成示意图

（或吊车桁架上弦杆）和制动板组成的制动梁，或由相邻跨的两吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）和腹杆系统组成的制动桁架。

2. 当吊车梁为重级工作制，或吊车梁跨度≥12m，或吊车桁架时，宜设置制动结构。

特重级工作制吊车梁的制动结构应采用制动梁；起重量 $Q\geq 150$ 吨的重级工作制吊车的吊车梁跨度≥12m，或制动结构的宽度 b 在 1.2m 以下而需设置人行走道时，宜采用制动梁；其他情况下，则应优先采用制动桁架。

3. 制动结构的作用为：

（1）承受吊车横向水平荷载及由于其他因素所产生的水平力。

（2）保证吊车梁（或吊车桁架）的侧向稳定性。

（3）增加吊车梁（或吊车桁架）的侧向刚度。

（4）作为检修吊车及轨道的操作平台及人行走道。

4. 制动结构应按下列荷载进行计算：

（1）吊车横向水平荷载及由于其他因素所产生的水平荷载，其荷载分项系数 $\gamma_Q=1.4$。

（2）检修吊车及轨道的平台检修荷重或人行走道的垂直均布荷重。当无特殊要求时，可取垂直均布荷载标准值为 $2.0kN/m^2$，其荷载分项系数 $\gamma_Q=1.4$。

5. 制动板一般采用花纹钢板，或采用普通平钢板而采取防滑措施，其厚度不应小于其宽度 b_n 的 1/200，并不小于 6mm，常用的为 8～10mm。当宽厚比 b_n/t 大于 100 时，板的下面宜用加劲肋加强。加劲肋间距：当 $b_n/t=100$ 时，为 $2b_n$；当 $b_n/t=200$ 时，为 b_n。加劲肋的截面一般采用板条或角钢，以间断焊缝焊于板下。制动板的厚度和加劲肋的选用可参考表 8-16 采用。

制动板的厚度和加劲肋选用参考表　　表 8-16

制动板宽度 b_n（mm）		500～600	800	1000	1200	1500
制动板厚度（mm）		6	6	8	8	10
加劲肋	截面（mm）	-80×6 或 L63×5		-90×6 或 L75×5		-100×8 或 L80×6
	设置间距（mm）	600～800		750～1000		

6. 制动桁架腹杆的几何图形应采用带竖杆的三角形体系，腹杆的倾角可在 30°～45°间

选用，其节间划分应与吊车梁的横向加劲肋（或吊车桁架的节间）相对应。

（1）制动桁架的宽度一般不宜小于其跨度的1/20。

（2）制动桁架的腹杆截面一般采用单角钢。当端斜杆的内力很大时，亦可采用双角钢截面，当设有人行走道时，可焊以短角钢方法来连接。

8.9.2 制动结构的强度、稳定及挠度计算

1. 制动梁的强度应按下列规定计算：

（1）当制动梁的边梁为单个槽钢或型钢（图8-56*a*）时：

压应力，

$$\sigma = \frac{M_{x_1}}{W_{nx_1}^{上}} + \frac{M_H}{W_{ny_1}} \leqslant f \tag{8-76}$$

拉应力，

$$\sigma = \frac{M_{x_1}}{W_{nx_1}^{下}} + \frac{M_H}{W_{ny_1}} \leqslant f \tag{8-77}$$

式中 M_{x_1}——作用于制动梁上的竖向荷载对边梁所产生的弯矩；

$W_{nx_1}^{上}$及$W_{nx_1}^{下}$——边梁对x_1轴的上部及下部纤维的净截面模量；

M_H——吊车横向水平荷载作用下，对制动梁在水平方向所产生的最大弯矩；

W_{ny_1}——制动梁对y_1轴的净截面模量；

（2）当制动梁的边梁为辅助桁架的上弦杆（图8-56*b*、*c*）时：

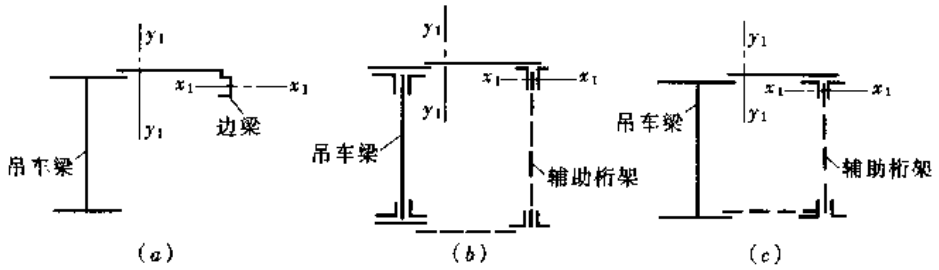


图8-56 制动结构截面图

$$\sigma = \frac{N + N_Q}{A_n} + \frac{M_H}{W_{ny_1}} + \frac{M_{x_1}}{W_{nx_1}} \leqslant f \tag{8-78}$$

式中 N——作用于制动梁上的竖向荷载所产生的轴心力；

N_Q——屋盖等荷载作用下，对辅助桁架上弦杆所产生的轴心力（当无此荷载时，则$N_Q = 0$）；

M_{x_1}——作用在制动梁上的竖向荷载对桁架上弦节间所产生的局部弯矩；

W_{nx_1}——辅助桁架上弦杆截面对x_1轴的净截面模量。

2. 制动梁的挠度

（1）制动梁的边梁为单个型钢时，其竖向挠度v可按下式计算：

$$v = \frac{M_{x_1} l_1^2}{10EI_{x_1}} \leqslant \frac{l}{400} \tag{8-79}$$

式中　M_{x_1}——作用于制动梁上的荷载标准值对边梁所产生的最大弯矩；

I_{x_1}——边梁对 x_1 轴的毛截面惯性矩；

l_1——边梁的支承点间距离。

（2）制动梁的边梁为辅助桁架的上弦杆时，辅助桁架的竖向挠度 v 可按下式计算：

$$v=\frac{Ml^2}{8EI}\leqslant\frac{l}{400} \tag{8-80}$$

式中　M——作用于辅助桁架的荷载标准值所产生的最大弯矩；

I——辅助桁架弦杆对中和轴的毛截面折算惯性矩；

l——辅助桁架的跨度。

设有重级工作制吊车的制动梁或与墙架结构有连系的制动梁，其水平挠度 v 可按公式(8-81)计算；［此时吊车水平荷载 H 值应按第8.3.2条第2款1)、2)所列公式（8-1a）～（8-1d）（8-2a）、(8-2b）采用］。

重级工作制吊车制动梁及与墙架有连系的制动梁的水平挠度 v 的计算公式

$$v=\frac{M_{\mathrm{H}}l^2}{10EI_{y_1}}\leqslant\frac{l}{2200} \tag{8-81}$$

式中　M_{H}——由一台最大吊车横向水平荷载标准值所产生的最大弯矩；

I_{y_1}——制动梁对 y_1 轴的毛截面惯性矩；

l——制动梁的跨度。

3．制动桁架的外弦杆（指边梁或辅助桁架的上弦杆）和腹杆的最大内力可用桁架内力影响线方法求算。为简化计算起见，一般可仅计算支座斜杆、第二根斜杆及竖杆的内力以选择截面，而其他中间的斜杆及竖杆截面取与第二根斜杆及竖杆相同。

（1）所求得的杆件最大轴心力，当为重级工作制吊车时，其横向水平荷载应按8.3.2条公式（8-3）计算，由于吊车横向水平荷载为反复作用的荷载，对各杆件的最大内力受拉也可能受压，因此各杆的截面一般均按压杆的稳定计算确定。当采用的截面为单角钢且单面连接时，应按第8.3.6条的规定乘以相应的折减系数。

（2）当制动桁架各腹杆上或仅竖腹杆上设有人行走道时，腹杆尚应考虑竖向荷载所产生的局部弯矩，并按压弯杆件计算和选择截面。

4．制动桁架腹杆的强度和稳定应按下列规定计算：

（1）轴心受压构件按表3-16中公式（3-41）、(3-44）计算

强度，

$$\sigma=\frac{N}{A_{\mathrm{n}}}\leqslant f \tag{3-41}$$

稳定，

$$\frac{N}{\varphi A}\leqslant f \tag{3-44}$$

（2）拉弯、压弯杆件计算：

强度，

$$\sigma=\frac{N}{A_{\mathrm{n}}}\pm\frac{M_{\mathrm{x}}}{W_{\mathrm{nx}}}\leqslant f \tag{8-82}$$

弯矩作用平面内的稳定，

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{M_x}{W_{1x}\left(1-0.8\dfrac{N}{N_{Ex}}\right)}\leqslant f \tag{8-83}$$

$$\left|\frac{N}{A}-\frac{M_x}{W_{2x}\left(1-1.25\dfrac{N}{N_{Ex}}\right)}\right|\leqslant f \tag{8-84}$$

弯矩作用平面外的稳定，

$$\frac{N}{\varphi_y A}+\frac{\eta\beta_{tx}M_x}{\varphi_b W_{1x}}\leqslant f \tag{8-85}$$

式中 φ——轴心受压构件稳定系数，应根据表 14-1 截面分类和表 14-2～9 的稳定系数采用；

A_n——净截面面积；

M_x——当制动桁架上设有人行走道或其他设备荷载时所产生的弯矩；

W_{nx}——弯矩作用平面内的净截面模量；

φ_x——在弯矩作用平面内的轴心受压构件稳定系数；

W_{1x}——弯矩作用平面内较大受压纤维的毛截面模量；

W_{2x}——对较小翼缘的毛截面模量；

N_{Ex}——欧拉临界力，$N_{Ex}=\pi^2 EA/1.1\lambda_x^2$；

η——闭口截面为 0.7，其他截面为 1；

β_{tx}——可取 1.0；

φ_y——弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数；

φ_b——均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，对工字形（含 H 型钢）和 T 形截面可按第 3.1.3 条的规定采用。

当截面为单角钢并为单面连接时，其回转半径 i 应采用最小值即 i_{min}；其应力折减系数按表 2-9 采用。

5. 当制动桁架的腹杆受有较大竖向荷载时，尚应按下式计算其竖向挠度 v：

$$v=\frac{M_x l_g^2}{10EI_x}\leqslant [v]=\frac{l_g}{250} \tag{8-86}$$

式中 M_x——制动桁架的腹杆在荷载标准值作用下所产生的最大弯矩；

l_g——腹杆的几何长度。

6. 制动桁架的边梁强度和稳定性应按下列规定计算：

（1）当制动桁架的边梁为单个槽钢或型钢时：

1）强度，

$$\sigma=\frac{N_H}{A_n}+\frac{M_{x_1}}{W_{nx_1}}\leqslant f \tag{8-87}$$

2）弯矩作用平面内的稳定性，

$$\sigma=\frac{N_H}{\varphi_x A}+\frac{M_{x_1}}{W_{1x_1}\left(1-0.8\dfrac{N}{N_{Ex_1}}\right)}\leqslant f \tag{8-88}$$

式中　N_H——边梁在吊车横向水平荷载作用下的杆件内力，可按第8.8.9条的要求计算或 $N_H=\frac{M_H}{b}$（b 为制动桁架宽度）；

M_{x_1}——竖向荷载作用下对边梁产生的弯矩；

N'_{Ex_1}——欧拉临界力，$N'_{Ex_1}=\pi^2 EA/1.1\lambda_{x_1}^2$。

（2）当制动桁架的边梁为辅助桁架的上弦杆时：

1）强度，

$$\sigma=\frac{1}{A_n}(N+N_H+N_Q+N_W)\leqslant f \tag{8-89}$$

2）稳定性，

$$\sigma=\frac{1}{\varphi A}(N+N_H+N_Q+N_W)\leqslant f \tag{8-90}$$

式中　N——人行走道及其他设备荷载对辅助桁架上弦杆所产生的轴心力；

N_H——吊车横向水平荷载对辅助桁架上弦杆所产生的轴心力（可按8.9.2第3款的要求计算或 $N_H=\frac{M_H}{b_2}$）；

N_Q——屋面等荷载对辅助桁架上弦杆所产生的轴心力（当无此荷载时，则 $N_Q=0$）；

N_w——作为墙架柱的水平支承时，墙架柱传来的风，地震荷载对辅助桁架上弦杆所产生的轴心力（当无此荷载时，$N_w=0$）。

7. 设有重级工作制吊车的制动桁架或与墙架结构有连系的制动桁架，其水平挠度 v 可按下式计算：

$$v=\frac{M'_H l^2}{8EI_{y_1}}\leqslant\frac{l}{2200} \tag{8-91}$$

式中　M'_H——由一台最大吊车横向水平荷载标准值所产生的最大弯矩；

I_{y_1}——制动桁架弦杆截面对 y_1 轴的毛截面折算惯性矩；

l——制动桁架的跨度。

8.9.3　制动结构的连接和构造

1. 吊车为重级工作制或起重量 $Q>200$t 的中级工作制时，制动板或制动桁架的腹杆连接板与梁上翼缘间的连接应尽量采用高强度螺栓或铆钉，其直径一般为18～22mm。

（1）当采用高强度螺栓或铆钉有困难时，对于起重量 $Q\leqslant 30$t 的重级工作制和起重量 $Q\leqslant 200$t 的轻、中级工作制焊接吊车梁上翼缘与制动板或制动桁架腹杆连接板的连接，亦可采用C级螺栓固定和工地单面俯焊焊缝连接（图8-57和图8-58）焊缝厚度不宜小于6mm，并宜采用低氢型焊条。

（2）铆接吊车梁、或起重量 >30t 的重级工作制和起重量 $Q>200$t 的中级工作制焊接吊车梁，其制动板或制动桁架的连接板与吊车梁上翼缘的连接应优先采用高强度螺栓或铆钉连接。制动板的高强度螺栓或铆钉的间距 a 按下式计算：

$$a\leqslant\frac{N_{\min}^{b,r}I_{y_1}}{V_x S_{y_1}} \tag{8-92}$$

式中 $N_{min}^{b,r}$——一个高强度螺栓或铆钉的承载力设计值，取抗剪或承压承载力设计值中的较小值；

V_x——计算截面的最大剪力；

S_{y_1}——上翼缘对 y_1 轴的面积矩；

I_{y_1}——制动梁对 y_1 轴的惯性矩。

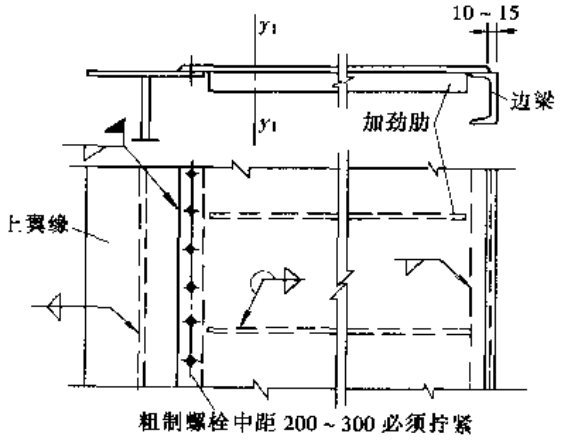


图 8-57 制动梁的连接

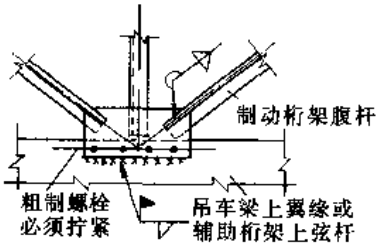


图 8-58 吊车梁上翼缘或辅助桁架上弦杆与制动桁架腹杆的连接

公式（8-92）算得的间距 a 并不应超过 $12d_0$（d_0 为高强度螺栓孔或铆钉孔的直径）或 $18t$（t 为制动板的厚度），习惯上采用 $a=150$mm。

2. 制动板加劲肋与制动板的连接一般采用间断焊缝，焊缝厚度一般为 6mm，长度为 60mm，焊缝净距不应超过 $15t$（t 为制动板厚度）。

制动板和边梁或辅助桁架上弦的连接，一般采用焊接连接，其俯焊焊缝用间断焊缝（图 8-57），间断焊缝的构造应满足上述要求。

3. 当需在制动板上开孔时，其洞宽一般不得超过板宽的 2/3；当制动桁架需有管道通过或人孔而影响斜杆设置时，有时要改变某一腹杆的布置方位或去掉杆件，此时在该空格应焊以开孔的钢板，孔洞四周应用钢板或角钢加强（图 8-59）。

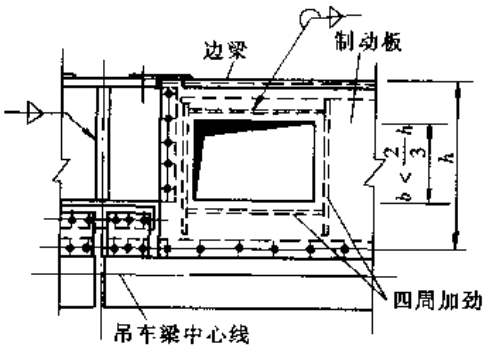


图 8-59 制动板制动桁架开孔加强

4. 计算制动桁架与上翼缘或辅助桁架上弦杆连接时的作用力：对仅有竖杆的节点，可取竖杆的轴心力；对于同时设有竖杆和斜杆的节点，可取单板斜杆在沿吊车梁轴线方向的分力和作用在一个轮子上的吊车横向水平荷载的合力。

5. 制动桁架的腹杆与连接板以及连接板与边梁的连接，一般采用工厂焊接连接，如图 8-60 所示。

制动桁架的腹杆应采用连接板连成整体，腹杆与连接板一般采用工厂焊缝满焊（图 8-60），连接板的厚度可取 $t=6\sim10$mm，按吊车起重量大小、跨度大小取值；对于腹杆内力较大时应由计算确定或按表 8-9 选用。

6. 为便于制动桁架整体运输和吊装，当无人行走道边梁角钢时，通常须增设一个临时的单角钢弦杆（图 8-61），为了便于拆卸，可用螺栓连接，待安装完毕后拆除；对于位于中列柱相邻跨两根吊车梁上或设有辅助桁架的制动桁架，可在其两侧各增设一根临时的单角钢弦杆连成整体。对设有人行走道的制动桁架，一般可利用铺设走道板用的通长边梁角钢连成整体。

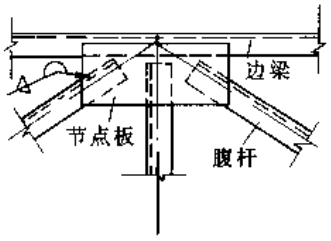


图 8-60　制动桁架的腹杆与节点板及边梁的连接

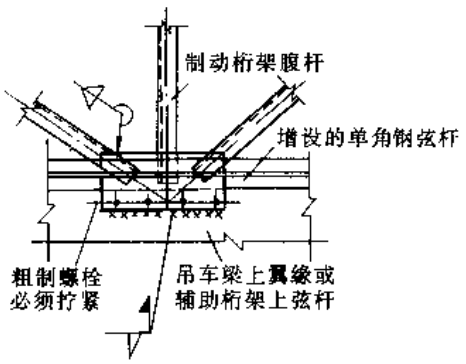


图 8-61　制动桁架上增设单角钢弦杆示意图

7. 厂房伸缩缝处的制动板，应注意其一端只能自由搭接而不能焊固。其自由搭接长度不宜小于 100mm。

8.9.4　辅助桁架及支撑

1. 辅助桁架与吊车梁（或吊车桁架）、制动结构、下弦水平支撑及垂直支撑组成一个空间体系，以承受吊车横向水平荷载或由于吊车偏轨所引起的扭矩。

2. 位于边列柱的吊车梁或吊车桁架，当符合下列情况之一时，宜设置辅助桁架、下弦水平支撑及垂直支撑：

（1）吊车桁架。

（2）跨度 $l \geqslant 12$m 的重级或特重级工作制工字形吊车梁。

（3）跨度 $l \geqslant 18$m 的轻、中级工作制工字形吊车梁。

（4）特重型厂房内跨度 $l \geqslant 12$m 的中级工作制吊车梁。

位于中列柱的吊车梁（或吊车桁架），当相邻跨吊车梁（或吊车桁架）的高度相同且钢轨高一致时，可设置制动结构、下翼缘水平支撑及垂直支撑组成的空间体系；当相邻跨吊车梁（或吊车桁架）的高度不等且钢轨高相差悬殊时，可按本条 1 至 4 项对边列柱所规定之一采用。

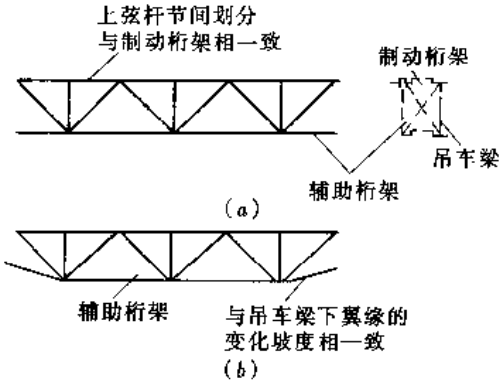


图 8-62　辅助桁架形式示意图
（a）平行弦桁架（吊车梁为等截面）；
（b）变截面桁架（吊车梁为变截面）

3. 辅助桁架在遇高低跨屋盖且柱距 $\geqslant 12$m 而屋架及墙架采用 $\leqslant 6.0$ 间距时，此时辅助桁架尚有支承屋盖荷载的托架作用以及墙的竖向和水平风载，地震区还承受地震作用。

4. 辅助桁架的几何外形应与吊车梁（或吊车桁架）的外形相匹配，当为等截面吊车梁（或吊车桁架）时，应采用平行弦的辅助桁架

(图 8-62a)；当为变高度截面吊车梁（或吊车桁架）时，宜采用与吊车梁（或吊车桁架）相适应的变高度辅助桁架，桁架节间的划分应与吊车梁加劲肋的位置及吊车桁架的节间划分相一致，见（图 8-62）所示。

5. 辅助桁架的上弦杆的截面型式见（图 8-63a），腹杆一般采用双角钢，在与垂直支撑连接处则采用十字形（图 8-63b），下弦杆采用双角钢或⊥形钢，承受荷载小的也可用单角钢（图 8-63c）。

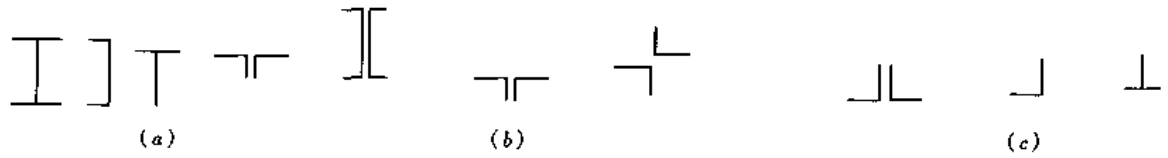


图 8-63 辅助桁架杆件常用的截面形式

(a) 上弦杆；(b) 腹杆；(c) 下弦杆

6. 吊车梁（或吊车桁架）的垂直支撑应设置在吊车梁（或吊车桁架）变形较小处，因此简支吊车梁（或吊车桁架）不应在跨中设置垂直支撑，通常宜设在靠近端部的 1/3～1/4 处，一般每一根吊车梁（或吊车桁架）设置两道，对称设置。垂直交叉支撑的截面一般由长细比≤250 来确定。其截面形式一般为单角钢形成十字形交叉杆件，交叉点可用螺栓连接。

7. 吊车梁下翼缘（或吊车桁架下弦杆）的水平支撑桁架一般采用单角钢竖肢朝上放置，杆件截面按压杆的长细比确定。当吊车梁下翼缘（或吊车桁架下弦杆）的水平支撑作为墙架柱的支点时，尚应考虑由墙架柱传来的风力对水平支撑架的影响。

8. 辅助桁架、吊车梁下翼缘（或吊车桁架下弦杆）的水平支撑架及垂直支撑的杆件长细比不宜超过表 8-17 的数值。

辅助桁架、下翼缘水平支撑架及垂直支撑的杆件容许长细比 表 8-17

杆件名称		设有重级工作制吊车时		设有轻中级工作制吊车时		备注
		拉杆	压杆	拉杆	压杆	
辅助桁架	弦杆	250	150	300	150	
	腹杆		150		150	
吊车梁下翼缘（或吊车桁架下弦杆）的水平支撑架			200		200	不宜小于 L63×5
垂直支撑		250		300		

9. 作用于辅助桁架的荷载有：自重、人行走道的自重和检修活荷重、积灰荷载以及有时设置设备的荷重。当与屋面支柱或高低跨厂房支承低跨屋面，与墙架柱相连时，应考虑屋面荷载、墙架柱传来的墙荷重以及风荷重。地震区尚应考虑地震作用。

10. 辅助桁架各杆件的强度和稳定性应按下列规定计算：

(1) 辅助桁架上弦杆的强度和稳定性计算：

1) 当制动结构为制动梁时，

$$\sigma = \frac{N + N_Q}{A_n} + \frac{M_H}{W_{ny_1}} + \frac{M_{x_1}}{W_{nx_1}} \leqslant f \tag{8-93}$$

2) 当制动结构为制动桁架时：

强度，

$$\sigma = \frac{1}{A_n}(N + N_H + N_Q + N_W) \leqslant f \tag{8-94}$$

稳定性，

$$\frac{1}{\varphi A}(N + N_H + N_Q + N_W) \leqslant f \tag{8-95}$$

（2）辅助桁架下弦杆的强度计算：

$$\sigma = \frac{1}{A_n}(N + N_Q + N_W) \leqslant f \tag{8-96}$$

（3）辅助桁架腹杆的强度和稳定性计算：

强度

$$\sigma = \frac{1}{A_n}(N + N_Q) \leqslant f \tag{8-97}$$

稳定性

$$\frac{1}{\varphi A}(N + N_Q) \leqslant f \tag{8-98}$$

式中的符号见第8.9.2第6款。

11. 辅助桁架的竖向挠度按公式（8-80）的要求确定。

辅助桁架的起拱应与吊车梁（或吊车桁架）的起拱相一致。

当辅助桁架支承屋盖时，其竖向挠度不宜超过其跨度的1/1000。

12. 吊车梁下翼缘（或吊车桁架下弦杆）的水平支撑架与吊车梁下翼缘（或吊车桁架下弦杆）的连接，宜采用高强度螺栓或铆钉连接；与辅助桁架下弦杆的连接，宜采用高强度螺栓、焊接或普通螺栓连接。螺栓直径不应小于16毫米，每杆端不应少于两个。

8.10　吊车梁与柱的连接计算及构造

8.10.1　吊车梁下翼缘与柱的连接

1. 吊车梁下翼缘与柱的连接，一般采用普通螺栓固定。当吊车梁在非柱间支撑范围的柱间内，可按图8-64（*a*）、（*b*）节点之左侧和图8-65（*b*）、（*c*）所示的连接方法；此时所用的固定螺栓可按构造配置，通常采用2M22或4M22，螺栓上的垫板厚度为16mm。

2. 当吊车梁位于设有柱间支撑的柱时，可按图8-64*a*和图8-65（*a*）所示的连接方法处理，连接螺栓的抗剪强度和承压强度应按下列公式计算：

$$\tau = \frac{1.5(H_z + H_w)}{nd^2} \leqslant f_v^b \tag{8-99}$$

$$\sigma_c = \frac{1.2(H_z + H_w)}{ntd} \leqslant f_c^b \tag{8-100}$$

式中　H_z——吊车纵向水平荷载设计值；

H_w——山墙传来的风荷载设计值或地震作用；

d——螺栓的直径；

n——螺栓的数目；

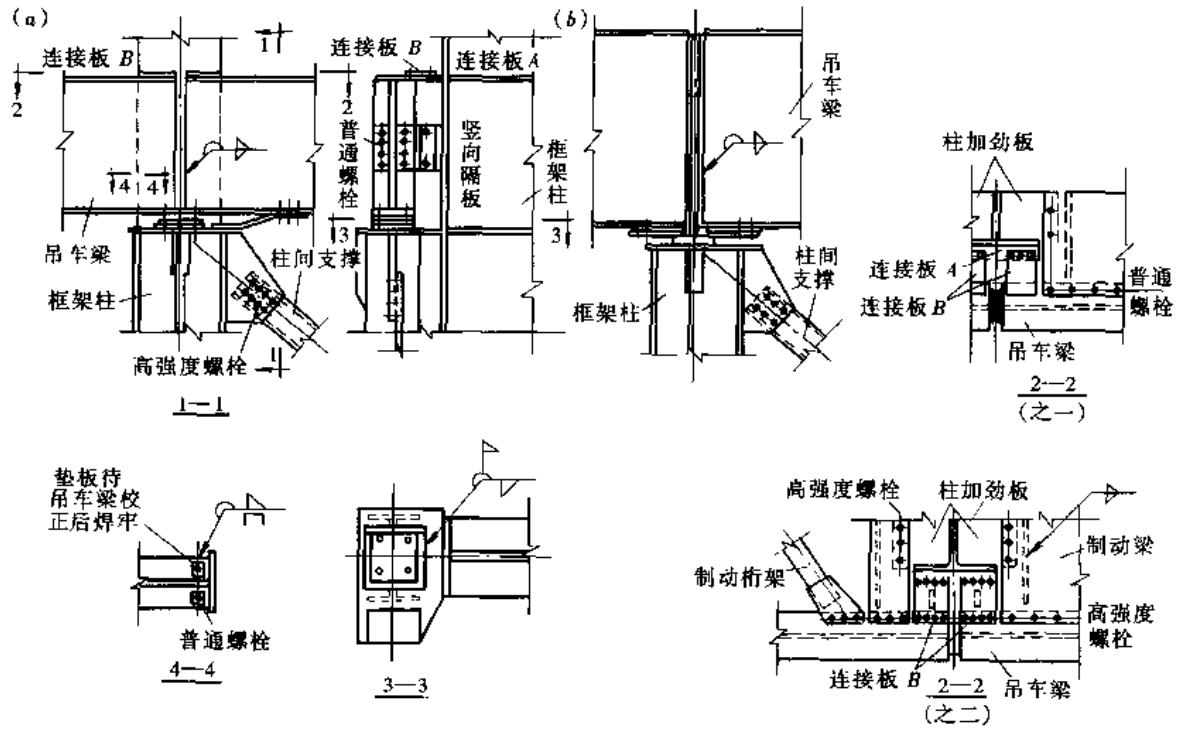


图 8-64 吊车梁与框架柱的连接之一

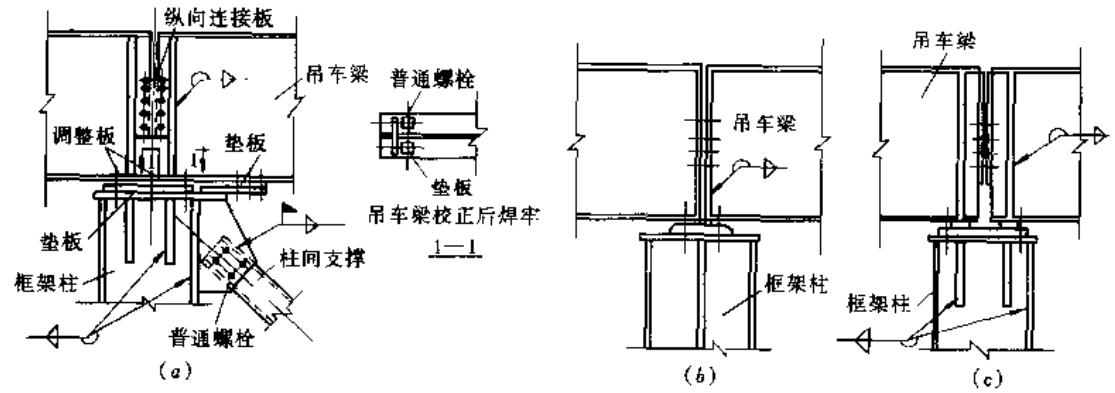


图 8-65 吊车梁与框架柱的连接之二

t——螺栓的连接板厚度。

3. 为了便于吊车梁的安装和调整，吊车梁下翼缘的螺栓孔径应比螺栓直径大 10mm 左右，垫板上的螺栓孔径应比螺栓直径大 1.0～1.5mm，待吊车梁调整后垫板与下翼缘周边焊牢，角焊缝的有效厚度 $h_e = 8mm$。当吊车纵向水平荷载和山墙传来的风荷载较大时，尤其在高烈度地震区，应由计算确定角焊缝的有效厚度。

8.10.2 吊车梁上翼缘与柱的连接

1. 吊车梁上翼缘与框架柱连接的连接板（如图 8-64 所示的连接板 B），可按下列公式计算：

(1) 强度

$$\sigma = \frac{R_H}{(b - nd)\ t} \leqslant f \tag{8-101}$$

(2) 稳定

$$\frac{R_H}{\varphi bt} \leqslant f \tag{8-102}$$

2. 连接板 B 与框架柱或吊车梁上翼缘的连接，应分别按下列公式计算：

（1）当采用焊接连接时，每一侧所需角焊缝的有效长度为：

$$l_w = \frac{R_H}{0.7 h_f f_f^w} \tag{8-103}$$

且不得大于 $40h_f$。

（2）当采用高强度螺栓连接时，每一侧所需的高强度螺栓数目为：

$$n \geqslant \frac{R_H}{f_v^b} \tag{8-104}$$

（3）当采用铆钉连接时，每一侧所需的铆钉数目为：

$$n \geqslant \frac{R_H}{n_v \dfrac{\pi}{4} d^2 f_v^r} \tag{8-105}$$

（4）当采用板铰连接（图 8-66）时，销钉的直径应同时满足下列公式的要求：

$$d \geqslant \sqrt{\frac{R_H}{n_v \dfrac{\pi}{4} f_v^b}} \tag{8-106}$$

$$d \geqslant \frac{R_H}{\Sigma t f_c^b} \tag{8-107}$$

式中　R_H——由吊车横向水平荷载设计值在柱之一侧所产生的最大反力，对轻、中级工作制的横向水平荷载 H 值按公式（8-1a、b、c）采用，对重级、特重级工作制的横向水平荷载 H_K 按公式（8-3）采用；

b——连接板的宽度；

t——连接板的厚度；

d——铆钉的孔径或销钉的直径；

n_v——每个铆钉或销钉的受剪面数目；

φ——轴心受压杆件稳定系数。

8.10.3　吊车梁腹板与柱的连接

当吊车起重量较大，梁端高度大于 1.5m 时的重级工作制吊车梁，在与框架柱的连接处，应在梁端高度中部增设与框架柱连接的垂直隔板（图 8-64 剖面 1-1 所示）。隔板的尺寸以及采用普通螺栓的直径和数量可按吊车纵向水平荷载和山墙传来的风荷载（在地震区尚应考虑地震荷载）计算确定。当采用图 8-64 所示的连接方式时，螺栓按受拉计算；当采用图 8-65a 所示连接方式时，螺栓按受剪和承压计算。此时，宜采用高强度

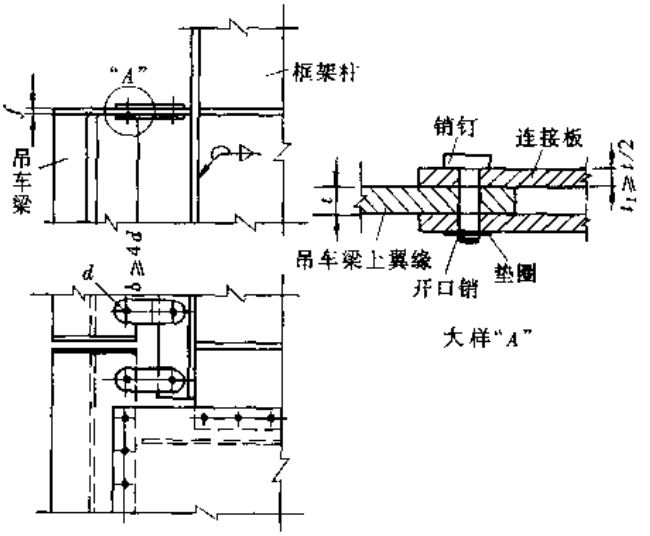


图 8-66　吊车梁与框架柱的板铰连接

螺栓或铆钉。对于一般吊车梁端部的纵向连接通常在梁端高度中部加设调整填板，并用普通螺栓连接，按吊车纵向水平荷载和山墙传来的风荷载或地震荷载计算确定。

8.10.4 吊车梁上翼缘、制动结构、辅助桁架与柱的连接

如图 8-67 所示。

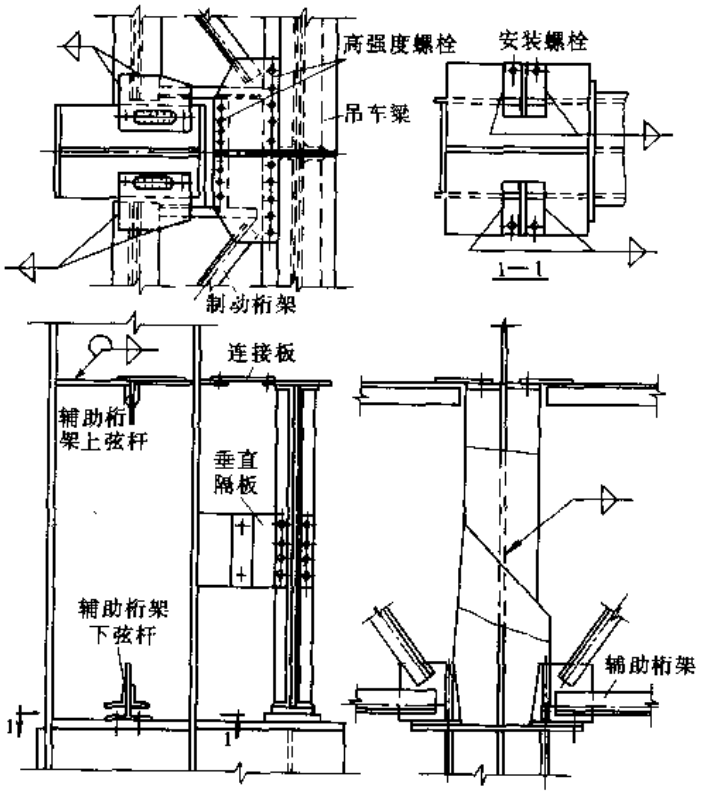


图 8-67 吊车梁、辅助桁架与框架柱的连接

8.11 吊车轨道和车挡

8.11.1 吊车轨道

1. 吊车轨道的选用应根据吊车轮宽选择，一般由吊车规格中可查到轮宽尺寸或建议选用的轨道型号，当为特殊的吊车需要计算轨道时，可按下式计算

$$b = \frac{25P}{Df} \tag{8-108}$$

式中 b——吊车轨道顶部的宽度；

P——吊车轮的集中荷载设计值（考虑动力系数）；

D——吊车轮的直径；

f——轨道所用钢材的强度设计值。

2. 常用轨道种类有下列五种：

（1）小截面方钢轨道，常用尺寸为 50×50、60×60；

（2）铁路轻轨（YB 222—63），常用 24kg/m；

（3）铁路重轨(GB 183—63、GB 182—63、GB 181—63)，常用 38kg/m、43kg/m、50kg/m；

（4）吊车钢轨（GB 3426—82）：常用 QU70、QU80、QU100 及 QU120；

（5）大截面方钢轨：常用尺寸为 140×140mm。

3. 各种轨道与吊车梁（或吊车桁架）的固定方法，可参照下列要求选用：

（1）小截面方钢钢轨宜用于梁式吊车和壁行吊车，方钢可用间断焊缝直接焊于吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）上，也可将方钢与角钢焊后再用螺栓固定在吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）上（图 8-68）。后者作法较有利于更换钢轨。

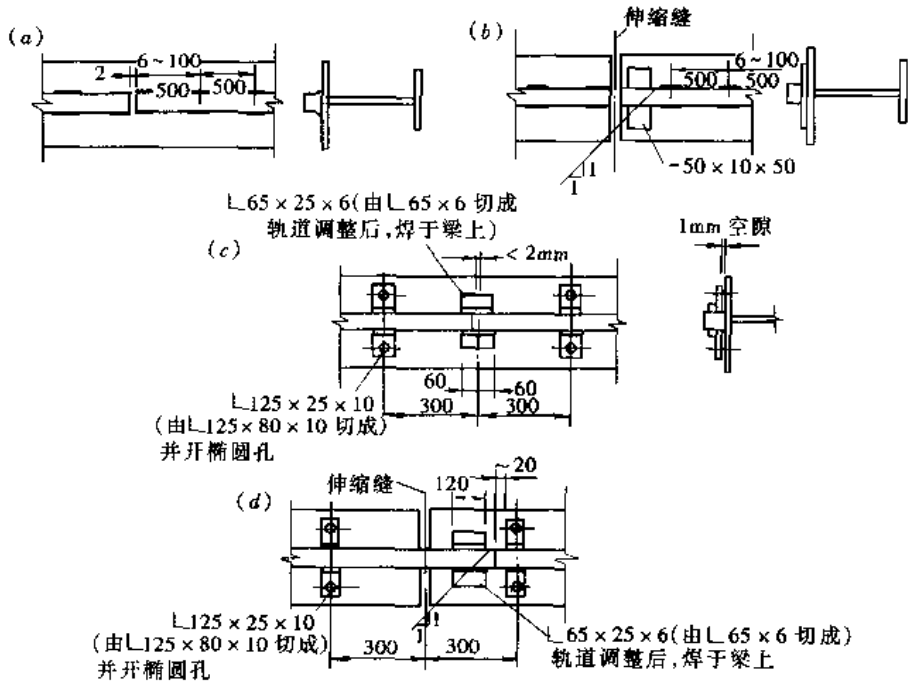


图 8-68　小截面方钢钢轨与吊车梁（或吊车桁架）的固定及其拼接

（a）方钢与吊车梁焊接固定及其拼接；（b）方钢在伸缩缝处的拼接；（c）方钢借助于角钢与吊车梁的固定；（d）方钢借助于角钢在伸缩缝处的拼接

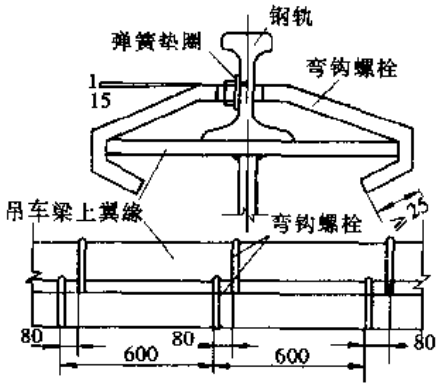
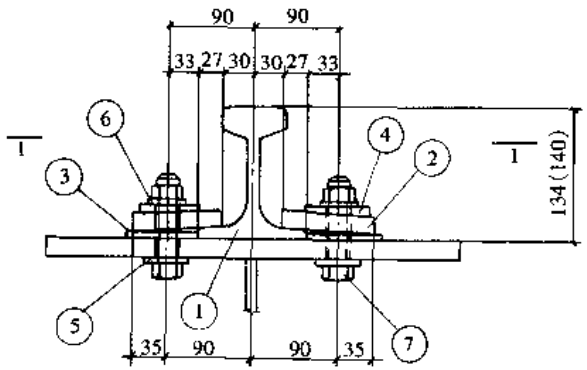


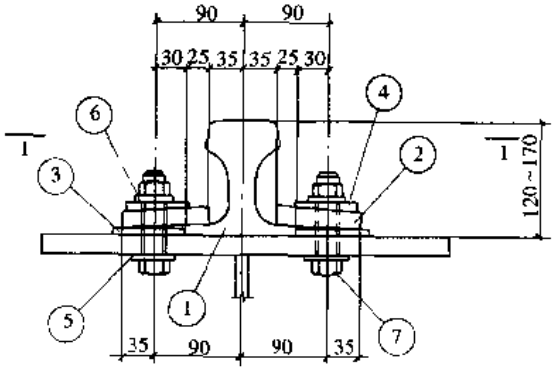
图 8-69　铁路钢轨与吊车梁（或吊车桁架）的固定

（2）铁路钢轨一般用于吊车起重量 $Q<32$t 的轻、中级（A1～A5）工作制的吊车。钢轨与吊车梁（或吊车桁架）的固定，过去通常采用弯钩螺栓连接（图 8-69），弯钩螺栓的直径为 22～25mm，螺栓的一端弯成钩状以便扣住吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆），有螺纹的一端伸入钢轨腹板的孔中，相距 70～80mm 的一对螺栓在其两侧拧上螺母，每对螺栓间的距离约为 600～700mm。同时松紧每对螺栓的螺母即可调整钢轨。因调研中发现轨道有松动，故近年来已基本不用，而采用图 8-70（a）、（b）的连接方法。

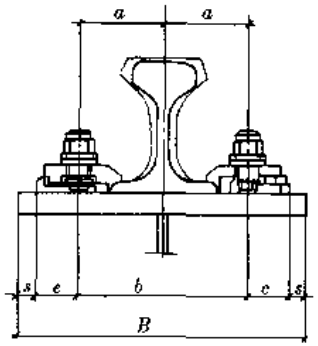
（3）吊车钢轨为桥式吊车的专用钢轨，其优点是高度小而轨面宽，腹板厚，因此其刚度和稳定性比铁路钢轨好，较宜用于 32t 及以上的中、重级工作制的吊车（A4～A8）设计者可以根据吊车起重量大小选用所需的型号，吊



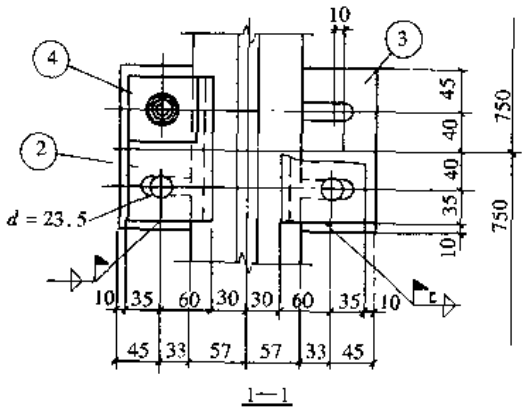
(a) 38kg/m(43kg/m)



(b) Q70、80、100、120

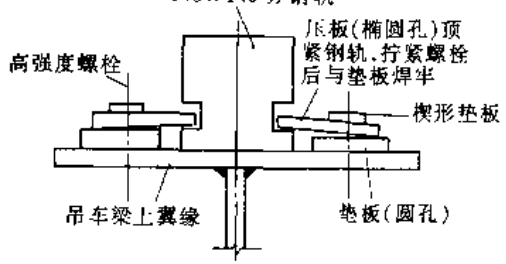


(c)焊接型轨道固定件示意图

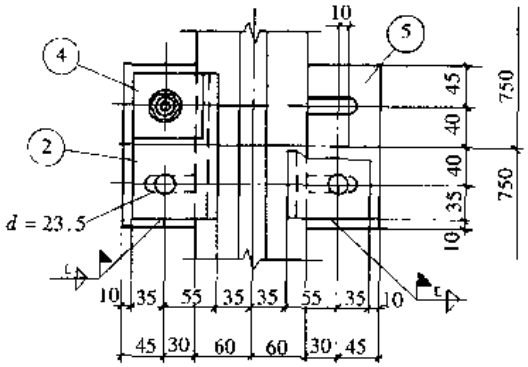


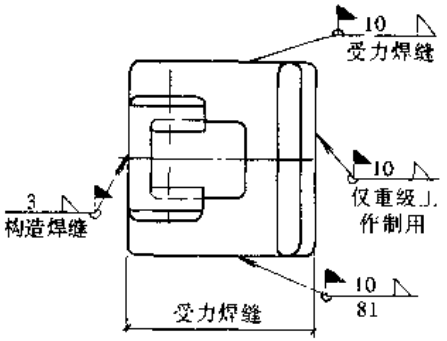
1—1

140×140 方钢轨



(d)





焊接型轨道固定件底座焊接图

图 8-70 吊车钢轨或大型方钢钢轨与吊车梁（或吊车桁架）的固定

(a)、(b)吊车的钢轨用压板与钢轨为面接触,(a)铁路钢轨(b)吊车钢轨;
(c)焊接型连接可用铁路钢轨或吊车钢轨;(d)大截面方钢轨连接,可用高强度螺栓或焊接型。
1—轨道型号;2—压板;3—垫板;4—楔形垫板;5—垫圈;6—弹簧垫圈;7—焊栓

车钢轨与吊车梁（或吊车桁架）的固定通常采用压板的打孔型或轨道固定件的焊接型固定于吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）上（图8-70a、b或c）。图8-70（c）焊接型连接法的主要优点是在吊车梁上翼缘不需打孔，不削弱截面，梁的强度大，施工方便，上翼缘的构造宽度要求小（表8-18注2），小吨位吊车梁可节约钢材。这种连接方法是由河南长葛市通用机械厂开发的，已有十多年历史，应用情况良好。表8-18给出其最小尺寸要求，便于设计参考。

WJK型轨道连接尺寸　　**表8-18a**

尺寸 / 型号	a (mm)	b (mm)	$2e$ (mm) $e=62$	$2s$ (mm) $s=10$ (5)	B $B=b+2e+2s$
TG38	97	194	124	20 (10)	338 (328)
TG43	97	194			338 (328)
TG50	106	212			356 (346)
TG60	115	230			374 (364)
QU70	100	200			344 (334)
QU80	105	210			354 (344)
QU100	115	230			374 (364)
QU120	125	250			394 (384)

SWJK型轨道连接尺寸　　**表8-18b**

尺寸 / 型号	a (mm)	b (mm)	$2e$ (mm) $e=59$	$2s$ (mm) $s=10$ (5)	B $B=b+2e+2s$
TG38	85	170	118	20 (10)	308 (298)
TG43	85	170			308 (298)
TG50	90	180			326 (316)
TG60	103	206			344 (334)
QU70	88	176			304 (294)
QU80	93	186			324 (314)
QU100	103	206			344 (334)
QU120	113	226			364 (354)

注：1. 上表中括号内尺寸仅为底座两侧焊缝间上翼缘最小宽度。

2. 当要求吊车梁上翼缘宽度更小时可见长葛市通用机械厂的（CGTK和CGQY型）。

（4）大截面方钢钢轨用于特重型桥式吊车，其最大轮压值超过785kN（80t）时，并可采用压板打孔或焊接型（不打孔）。

4. 常用的轨道拼接接头有下列作法：

（1）小截面方钢钢轨的拼接接头见图8-68所示。

（2）铁路钢轨的拼接接头在不采用焊接长轨时，可采用平缝鱼尾板拼接，对于铁路钢轨可采用标准鱼尾板（GB 185—63），有其他要求亦可自行加工非标准鱼尾板。在伸缩缝处钢轨接头宜为斜缝拼接，亦可用平板鱼尾板在轨道上开椭圆孔处理。钢轨的接头宜设置在梁的端部或其附近处，伸缩缝处的拼接接头应与梁的伸缩缝错开约500mm（图8-71）。

（3）吊车钢轨一般均采用自行加工的夹板进行拼接，拼接接头与铁路钢轨的方法相

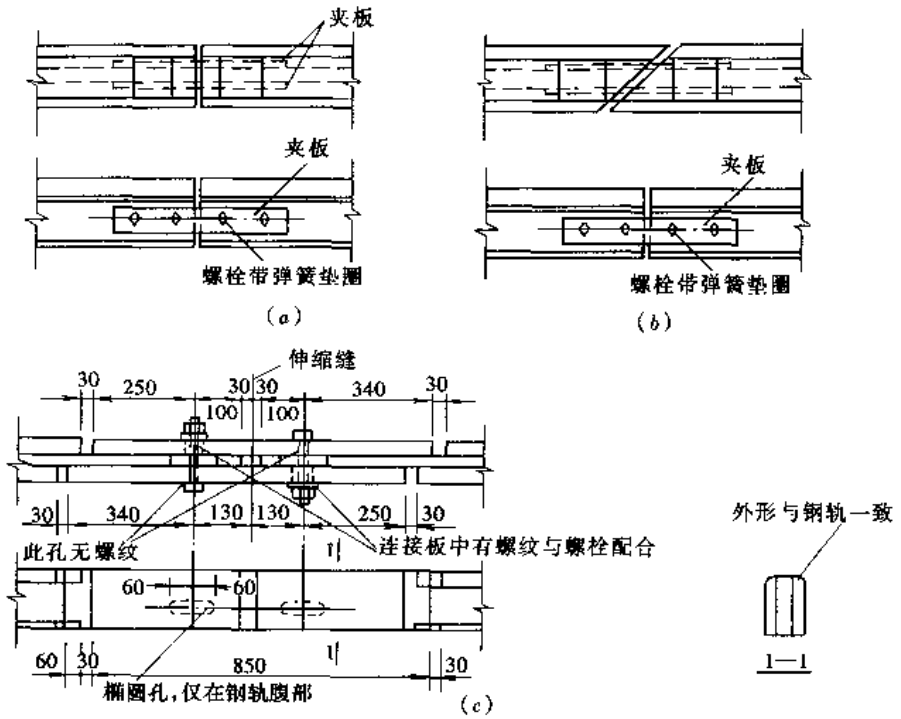


图 8-71 吊车钢轨或铁路钢轨的拼接接头

(a) 平缝拼接；(b) 斜缝拼接；(c) 伸缩缝处的拼接

同，同样可分平缝、斜缝和伸缩缝处的拼接（图 8-71）。

(4) 大截面方钢钢轨的拼接一般采用人字形缝型式，对伸缩缝处的拼接采用图 8-72 所示的企形切口拼接。

钢轨接头的构造应保证轮子平缓地通过轨道的对接部分。对于特重型厂房内的钢轨的中间接头宜采用焊接。

5. 轨道的接头除上述的拼接方法外，亦可采用焊接长轨，当采用焊接长轨时，其焊接技术要求高，在焊接时应满足下列要求：

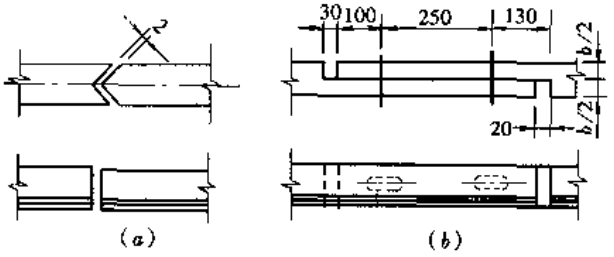


图 8-72 大截面方钢钢轨的拼接接头

(a) 人字形缝拼接；(b) 伸缩缝处的拼接

(1) 严格控制钢轨的焊接变形，在焊前装配时应采取反变形措施，并控制好两根轨道的高度，纵向要对齐。

(2) 焊前要热处理，焊后要回火处理，在两根钢轨端头的预热范围为各 20～30mm，预热温度为 250℃左右，焊后回火温度为 600～700℃，从焊缝中心算起两边各为 40mm 左右作为回火处理范围。

(3) 焊接顺序应由下向上，先焊轨底后焊轨腰、轨头，最后修补周围。焊条采用直径为 4mm 的低氢型电焊条。

(4) 钢轨焊接回火并冷却到大气温度以后，对轨道的顶面和两侧面的焊缝应进行磨平处理。

钢轨的长度应与厂房伸缩缝长度相一致，并应按伸缩缝的拼接要求处理。

6. 伸缩缝处的轨道拼接一般采用较大空隙（15mm 或与厂房伸缩缝相匹配）的斜缝鱼

尾板或夹板拼接，板上应开椭圆孔，其拼接位置宜与梁的伸缩缝相距约500mm。

所用夹板材质应不低于Q235钢（保证抗拉强度、屈服点、延伸率三项指标）。所用的连接螺栓应采取防松措施。

7. 轨道安装偏差对吊车梁的受力有一定影响，其要求为：

（1）轨道中心线对吊车梁腹板轴线位置的允许偏差值为 $t/2$（t 为梁腹板厚度及≤5mm；

（2）轨道端部两相邻连接的高差和平面的偏差≤1mm；

（3）轨道中心线的不平直度为3mm，轨道不允许有弯曲折线；

（4）两根轨道中心线间的距离偏差≤±5mm；

（5）厂房横向同一跨间、同一位置上两根轨道顶面的标高差为：在吊车梁支座处≤10mm；在吊车梁其他位置处≤15mm。

8.11.2　车挡

1. 吊车的车挡设置是为了阻止吊车越出轨道而破坏厂房，一般设置在厂房尽端的吊车梁（或吊车桁架）端部。

车挡一般采用焊接工字形截面，起重量 Q≤3t 吊车的车挡亦可用轧制工字钢，当吊车梁（或吊车桁架）为铆接时，车挡可采用铆接亦可采用焊接。为减轻吊车对车挡的冲击，车挡上应设置橡胶垫板或软木块的缓冲吸震装置。当吊车起重量 Q 大于100t的重级工作制吊车或硬钩吊车时，宜采用较厚（多层）的橡皮垫或缓冲器。图8-73为焊接车挡的形式和构造，其截面尺寸和螺栓直径应由计算确定。

2. 作用于每一个车挡的吊车纵向水平荷载 H_{LH} 可按下式计算：

$$H_{LH}=\frac{\xi_r G v_0^2}{2gs_d}\cdot\gamma_Q \tag{8-109}$$

式中　G——冲击体重量（kN）：对软钩吊车 $G=G_0+0.1Q$，对硬钩吊车 $G=G_0+Q$；

G_0——吊车总重（自重）（kN）；

Q——吊车额定起重量（kN）；

v_0——碰撞时大车速度，$v_0=0.5v$；

v——吊车运行额定速度（m/s）；

g——重力加速度，取 $g=9.81\text{m/s}^2$；

s_d——缓冲器冲程：对5t、15/3t～50/10t、100/20t～250/30t，吊车 $s_d=125$mm；对10t、75/20t吊车，$s_d=150$mm；

ξ_r——考虑车挡上弹性垫板变形等有利因素系数，取 $\xi_r=0.8$；

γ_0——荷载分项系数取1.4。

3. 车挡的截面强度计算应按下列要求进行：

正应力（车挡的底部截面），

$$\sigma=\frac{H_{LH}h}{W}\leqslant f \tag{8-110}$$

剪应力（荷载作用处），

$$\tau=\frac{H_{LH}S_i}{It_w}\leqslant f_v \tag{8-111}$$

式中　h——车挡底面（即吊车梁或吊车桁架的顶面）至吊车缓冲器中心的距离；

W——验算截面的截面模量；

S_t——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；

I——验算截面的毛截面惯性矩；

t_w——腹板厚度。

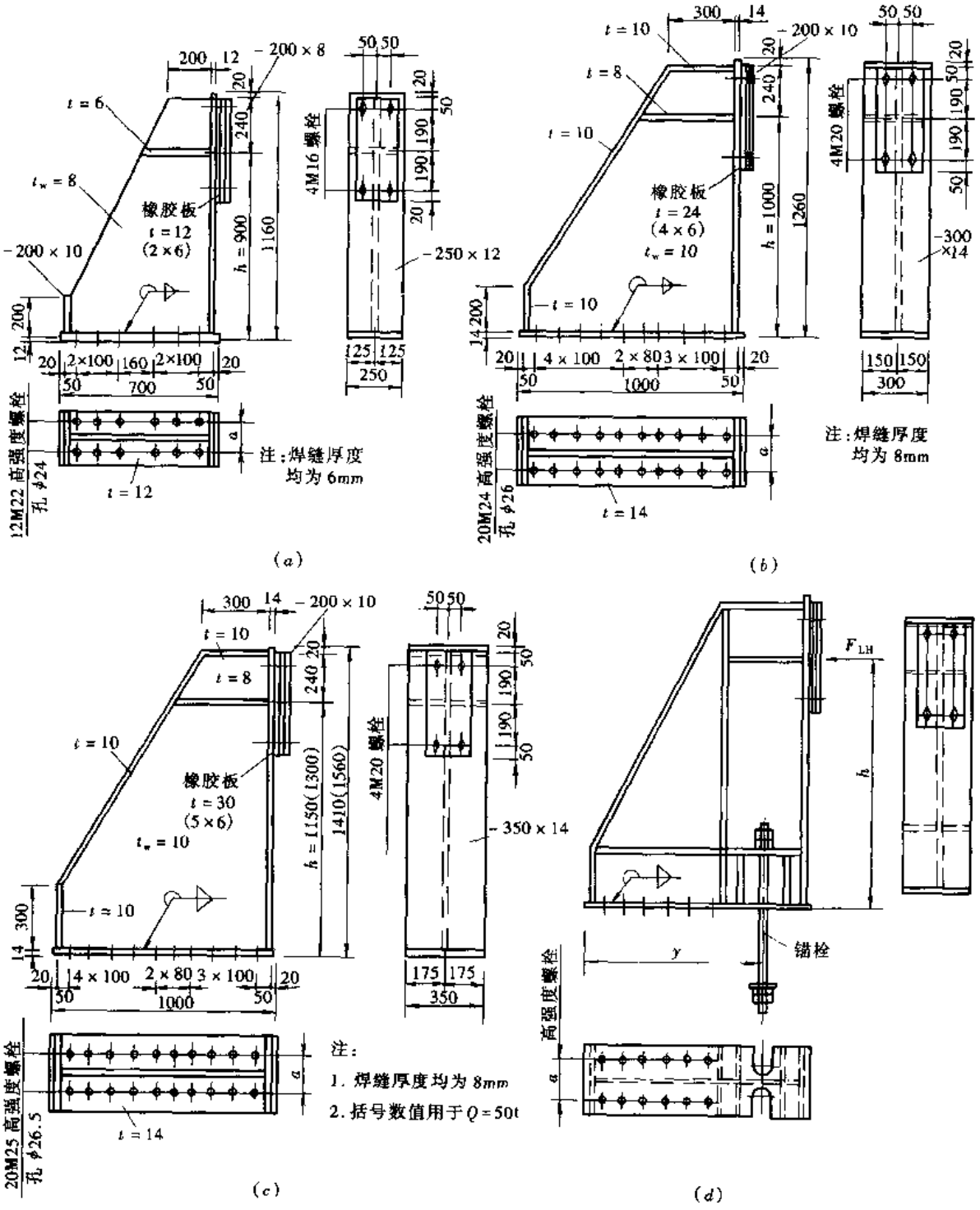


图 8-73 车挡

(a) 适用于 $Q \leqslant 10t$；(b) 适用于 $10t \leqslant Q \leqslant 20t$；(c) 适用于 $Q = 30 \sim 50t$；(d) 适用于 $50t \leqslant Q \leqslant 200t$ 的型式和构造

4. 车挡与吊车梁上翼缘（或吊车桁架上弦杆）的连接。当采用摩擦型高强度螺栓时（图 8-73a ~ c），一个受力最大的高强度螺栓的拉力 N_t，可按下式计算：

$$N_t = \frac{H_{LH} h y_{max}}{2\Sigma y_i^2} < N_t^b = 0.8P \tag{8-112}$$

每个高强度螺栓摩擦型连接的抗剪承载能力 N_t^b 按表 4-10 公式（4-32）计算

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu P$$

连接所需高强度螺栓数量由公式（4-34）为：

$$n = \frac{H_{LH}}{(N_t^b - N_t)} \frac{N_t^b}{N_v^b} \tag{8-113}$$

式中　P——高强度螺栓的预拉力。

5. 当车挡与吊车梁（或吊车桁架）连接采用锚固螺栓受拉和高强度螺栓受剪（图 8-72d）时，一个锚固螺栓所需的计算面积可按下式计算：

$$A \geqslant \frac{H_{LH} h}{2 y f_t^a} \tag{8-114}$$

连接所需的摩擦型高强度螺栓数目按公式（8-113）计算，但每个高强度螺栓的抗剪强度设计值按公式（4-32）计算，即

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu P$$

图 8-73（a）、（b）、（c）中的尺寸 a 为轨道连接螺栓中心间的距离，车挡底板宽度 b 可取 $a + 100$mm。

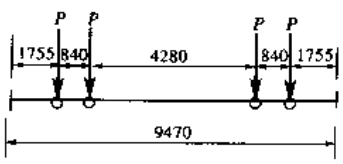
8.12　吊车梁设计实例

【例题 8-1】　12m 工字形吊车梁

1. 设计资料

吊车梁跨度 $l = 12$m；制动结构采用制动桁架，其宽度由吊车梁中心至辅助桁架中心的距离为 2m；设有二台起重量为 100t/32t 软钩重级工作制（A6）吊车，吊车资料见表 8-19；钢材选用 Q345 钢，手工焊焊条采用 E5015，E5016 或 E5018 型焊条；翼缘与腹板连接焊缝采用自动焊。

表 8-19

吊车起重量 Q (t)	吊车跨度 S (m)	台数	工作制	吊钩类别	轮距宽度 (mm)	最大轮压 P_{max} (kN)	小车重 g (t)	吊车总重 G (t)	轨道型号
100/32	22	2	重级（A6）	软钩		400	40.9	10s	QU100

注：吊车资料取自最新的太原重型机器厂的产品

2. 吊车荷载计算

吊车竖向荷载的动力系数 $\mu = 1.1$，吊车荷载的分项系数 γ_Q 为 1.4，则吊车荷载的设计值为：

$$P = \mu\gamma_Q P_{max} = 1.1 \times 1.4 \times 400 = 616\text{kN}$$

$$H_k = \gamma_Q \alpha P_{max} = 1.4 \times 0.1 \times 400 = 56\text{kN}$$

3. 内力计算

(1) 吊车梁的最大弯矩及相应的剪力

产生最大弯矩的荷载位置如图 8-74 所示，梁上所有吊车轮压 ΣP 的位置为：

$$a_1 = \frac{616\ (0.84 + 4.35 + 5.19 + 9.47 + 10.31)}{6 \times 616} = 5.027\text{m}$$

合力 ΣP 和 C 点离梁中心线距离为：

按 8.4.1-2. (4)

$$a_6 = \frac{3a_3 + 2a_4 + a_5 - a_1 - 2a_2}{12} = \frac{3 \times 0.84 + 2 \times 4.28 + 0.84 - 0.84 - 2 \times 3.51}{12} = 0.34\text{m}$$

由表 8-2 查得 $\beta_W = 1.05$，C 点的最大弯矩为：

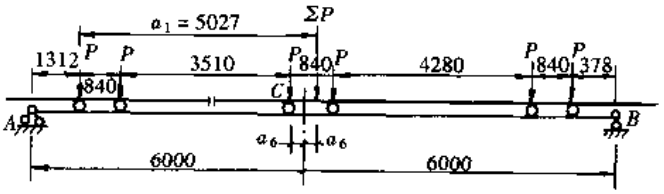


图 8-74 吊车梁最大弯矩计算简图

$$M_{max} = \left[\Sigma P \frac{\left(\frac{l}{2} - a_6\right)^2}{l} - P\ (a_1 + 2a_2)\right]\beta_w$$

$$= \left[\frac{6 \times 616\ (6 - 0.34)^2}{12} - 616\ (0.84 + 2 \times 3.51)\right] \times 1.05 = 5276\text{kN}\cdot\text{m}$$

在 M_{max} 处相应的剪力为：

$$V_c = \left[\frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_6\right)}{l} - 2P\right]\beta_w = \left[\frac{6 \times 616\ (6 - 0.34)}{12} - 2 \times 616\right]1.05 = 543\text{kN}$$

(2) 吊车梁的最大剪力 (图 8-75)

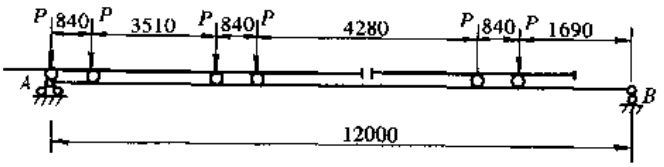


图 8-75 吊车梁最大剪力计算简图

$$V_{max} = R_A = \left[\frac{6 \times 616\ (12 - 5.027)}{12}\right] \times 1.05 = 2255\text{kN}$$

(3) 制动桁架的内力

荷载布置对应于最大弯矩图 (图 8-76)

1) 制动桁架内弦杆 (即吊车梁上翼缘) 的最大轴心力为：

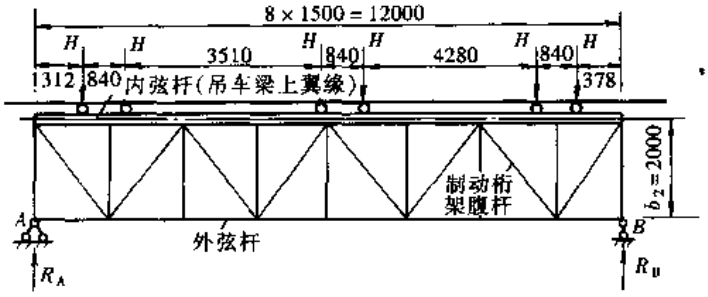


图 8-76　制动桁架最大弯矩计算简图

$$R_{AH}=\frac{\Sigma H_K\left(\frac{l}{2}+a_6\right)}{12}=\frac{6\times 56\ (6+0.34)}{12}=158.5\text{kN}$$

$$N_H=\frac{M_H}{b_2}=\frac{158.5\times 5.66-\frac{56\ (0.84+4.35)}{2}}{2}=303\text{kN}$$

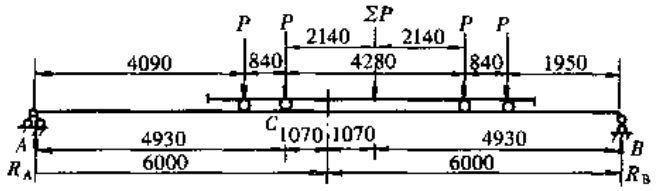


图 8-77　一台吊车时吊车梁最大弯矩计算简图

2）制动桁架内弦杆的局部弯矩，按公式（8-20）计算得：

$$M'_H=\frac{H_k a}{3}=\frac{56\times 1.5}{3}=28\text{kN}\cdot\text{m}$$

（4）在一台吊车荷载标准值（不考虑动力系数）作用下，C 点和横向加劲肋所在处 D、E 点的吊车荷载最不利位置如图 8-77 所示，吊车荷载的最大弯矩为：

按公式（8-10）

$$P_{max}=400\text{kN}\ (\text{标准值})\quad \Sigma P=4\times 400=1600\text{kN}$$

当 $a_3=a_1$ 时

$$a_4=\frac{a_2}{4}=\frac{4.28}{4}=1.07m$$

$$M_C=\frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2}-a_4\right)^2}{l}-P\times a_1=\frac{1600\ (6-1.07)^2}{12}-400\times 0.84=2904\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_D=\frac{1600\ (6+0.84-2.98)\ 6}{12}-400\times 0.84=2750\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_E=\frac{1600\ (7.5+0.84-2.98)\ 4.5}{12}-400\times 0.84=2880\text{kN}\cdot\text{m}$$

4. 截面选择

f 取 295N/mm^2

$$W=\frac{1.2M_{max}}{295}=\frac{1.2\times 5276\times 10^6}{295}=21.4\times 10^6\text{mm}^2$$

按公式（8-23）计算的梁经济高度为：

$$h=7\sqrt[3]{W}-300=7\sqrt[3]{21.4\times 10^6}-300=1643\text{mm}$$

按公式（8-24）计算容许挠度值要求的最小高度为：

$$h_{min}=0.6f l\left(\frac{l}{[v]}\right)10^{-6}$$

$$=0.6\times 295\times 12000\times 1200\times 10^{-6}=2549\text{mm}$$

采用 $h = 1750\text{mm}$

按公式（8-25）计算的腹板所需厚度为：

$$\text{设 } h_0 = 1750 - 2 \times 22 = 1706\text{mm}$$

$$t_w = \frac{1}{3.5}\sqrt{1706} = 11.8\text{mm}$$

按公式（8-26）计算的抗剪要求所需的腹板厚度为：

$$t_w = \frac{1.2V_{max}}{h_0 f_v} = \frac{1.2 \times 2255 \times 10^3}{1706 \times 170} = 9.3\text{mm}$$

采用 $t_w = 14\text{mm}$

按公式（8-27）计算的一个翼缘所需截面面积为：

$$A_1 = \frac{W}{h_0} - \frac{1}{6}h_0 t_w$$

$$= \frac{21.4 \times 10^6}{1706} - \frac{1}{6} \times 1706 \times 14$$

$$= 8563\text{mm}^2$$

上翼缘有两个轨道连接孔 $d = 22\text{mm}$，而且要承受较大的吊车摆动力而产生的水平荷载，故采用 -500×22。此时：

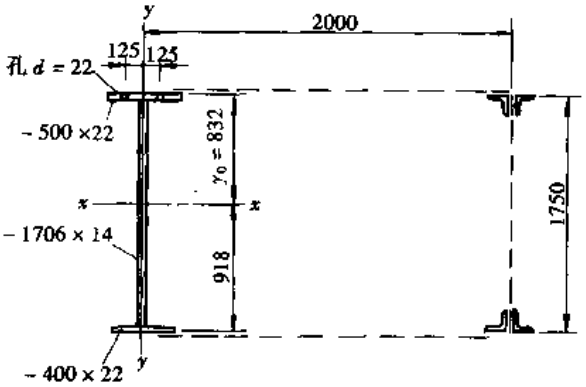


图 8-78 吊车梁截面图

$$b_1 = 250 - \frac{14}{2} = 243\text{mm}$$

$$b_1/t = \frac{243}{22} = 11 < 12.4$$

吊车梁对 x 轴的截面特性为（图 8-78）：

$$\Sigma A = 50 \times 2.2 + 170.6 \times 1.4 + 40 \times 2.2 = 110 + 238.84 + 88 = 436.84\text{cm}^2$$

$$y_0 = \frac{110 \times 1.1 + 238.84\left(2.2 + \frac{170.6}{2}\right) + 88\ (2.2 + 170.6 + 1.1)}{436.84} = 83.2\text{cm}$$

$$I_x = 110\ (83.2 - 1.1)^2 + \frac{1.4}{12}\ (170.6)^3 + 238.84\left(\frac{175}{2} - 83.2\right)^2 + 88\ (91.8 - 1.1)^2$$

$$= 2049 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$I_{nx} = 2049 \times 10^3 - 2 \times 2.2 \times 2.2\ (83.2 - 1.1)^2 = 1984 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$W_{nx}^{上} = \frac{1984 \times 10^3}{83.2} = 23846\text{cm}^3$$

$$W_{nx}^{下} = \frac{1984 \times 10^3}{91.8} = 21612\text{cm}^3$$

吊车梁上翼缘对 y 轴的截面特性为：

$$A_n = 50 \times 2.2 - 2 \times 2.2 \times 2.2 = 100.3\text{cm}^2$$

$$I_{ny} = \frac{1}{12} \times 2.2 \times 50^3 - 2 \times 2.2 \times 2.2 \times 12.5^2 = 21400\text{cm}^4$$

$$W_{ny} = \frac{21400}{25} = 856\text{cm}^3$$

5. 强度计算

（1）正应力

按公式（8-30）计算的上翼缘正应力为：

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^{上}} + \frac{N_H}{A_n} + \frac{M'_H}{W_{ny}}$$

$$= \frac{5276 \times 10^6}{23846 \times 10^3} + \frac{303 \times 10^3}{100.3 \times 10^2} + \frac{28 \times 10^6}{856 \times 10^3} = 284.2\text{N/mm}^2 < f = 295\text{N/mm}^2$$

按公式（8-31）计算下翼缘正应力为：

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^{下}} = \frac{5276 \times 10^6}{21612 \times 10^3} = 244\text{N/mm}^2 < 295\text{N/mm}^2$$

（2）剪应力

按公式（8-32）计算的突缘支座处剪应力为：

$$\tau = \frac{1.2V_{max}}{h_0 t_w} = \frac{1.2 \times 2255 \times 10^3}{1706 \times 14} = 113\text{N/mm}^2 < f_v = 170\text{N/mm}^2$$

（3）腹板的局部压应力

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R = 50 + 5 \times 22 + 2 \times 150 = 460\text{mm}$$

$$\psi = 1.35 \quad t_w = 14\text{mm} \quad F = P = 616\text{kN}$$

按公式（3-4）计算的腹板局部压应力为：

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_z} = \frac{1.35 \times 616 \times 10^3}{14 \times 460} = 129\text{N/mm}^2 < 295\text{N/mm}^2$$

（4）腹板计算高度边缘处的折算应力按公式（3-5）计算能满足，过程略。

6. 稳定性计算

（1）梁的整体稳定

由于吊车梁设有制动结构体系，梁的侧向稳定性有可靠保证，故可不计算梁的整体稳定。

（2）腹板的局部稳定

$$\frac{h_0}{t_w} = \frac{1706}{14} = 122 > 66 < 140$$

按第8.4.4条（4）款规定应配置横向加劲肋，并按第5款的规定进行验算。

设横向加劲肋的间距为1500mm

验算梁的最大弯矩处

$$M_{max} = 5276\text{kN}\cdot\text{m} \quad V = 543\text{kN}$$

$$F = P_{max} = 616\text{kN} \quad I = 1984 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$\sigma = \frac{Mh_c}{I} \cdot \frac{h_0}{h} = \frac{5276 \times 10^6 \times 83.2}{1984 \times 10^3 \times 10^3} \cdot \frac{170.6}{175} = 215\text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{h_0 t_w} = \frac{543 \times 10^3}{1706 \times 14} = 22.7\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_z} = \frac{616 \times 10^3}{14 \times 460} = 95.7\text{N/mm}^2$$

按第8.4.4条5款公式（3-16）验算：

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2+\frac{\sigma_c}{\sigma_{ccr}}\leqslant 1$$

计算 σ_{cr}，τ_{cr}及 σ_{ccr}

$$C_f=\sqrt{f_y/235}=1.21$$

$$\lambda_b=\frac{C_f 2h_c/t_w}{177}=\frac{1.21\times 2\dfrac{83.2}{1.4}}{177}=0.678<0.85$$

$$\sigma_{cr}=f=295\text{N/mm}^2$$

$$a/h_0=\frac{1500}{1706}=0.88<1$$

$$\lambda_s=\frac{C_f h_0/t_w}{41\sqrt{4+5.34\ (h_0/a)^2}}=\frac{1.21\dfrac{170.6}{1.4}}{41\sqrt{4+5.34\left(\dfrac{170.6}{150}\right)^2}}=1.09<1.2$$

$$\tau_{cr}=[1-0.59\ (\lambda_s-0.8)]\ f_v=[1-0.59\ (1.09-0.8)]\ 170=141\text{N/mm}^2$$

$$a/h_0=\frac{1500}{1706}=0.88<1.5$$

$$\lambda_c=\frac{C_f h_0/t_w}{28\sqrt{10.9+13.4\ (1.83-0.88)^3}}=\frac{1.21\dfrac{170.6}{1.4}}{28\sqrt{10.9+11.5}}=1.11<1.2$$

$$\sigma_{ccr}=[1-0.79\ (\lambda_c-0.9)]\ f=[1-0.79\ (1.11-0.9)]\ 300=250\text{N/mm}^2$$

将数据代入公式（3-16）得

$$\therefore\quad \left(\frac{215}{295}\right)^2+\left(\frac{22.7}{141}\right)^2+\frac{95.7}{250}=0.53+0.026+0.383=0.94<1\ (\text{可})$$

按支座处最大剪力计算时

$$\tau=\frac{2255\times 10^3}{1706\times 14}=94.4\text{N/mm}^2$$

$M=0$ 即 $\sigma=0$

$$\therefore\quad \left(\frac{94.4}{145}\right)^2+\frac{95.7}{250}=0.42+0.383=0.803<1$$

验算梁 4 米（$l/3$）处的腹板稳定性时（设 4m 处有一轮全梁，共四个轮）

$$M_4=\frac{4\times 616\times 5.405\times 4}{12}=4439\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V_4=\frac{4\times 616\times 5.405}{12}=1110\text{kN}$$

$$\sigma_4=\frac{4439}{5276}\times 215=181\text{N/mm}^2$$

$$\tau_4=\frac{1110}{543}\times 22.7=46.4\text{N/mm}^2$$

$$\therefore\quad \left(\frac{181}{295}\right)^2+\left(\frac{46.4}{141}\right)^2+\frac{95.7}{250}=0.381+0.106+0.383=0.87<1$$

验算结果腹板稳定在弯矩最大处控制，横向加劲肋按 1.5 米间距布置。

7. 加劲肋计算

（1）横向加劲肋

按公式（3-26a）计算的横向加劲肋外伸宽度为：

$$b_s \geqslant \frac{h_0}{30} + 40 = \frac{1706}{30} + 40 = 96.9\text{mm}\ \text{取}\ 100\text{mm}$$

按公式（3-27a）计算的横向加劲肋厚度为：

$$t_s = b_s/15 = \frac{100}{15} = 6.7\text{mm}$$

横向加劲肋采用 -100×8

（2）支座加劲肋

支座加劲肋采用 -300×20，其 $A_{ce} = 30\times 2 = 60\text{cm}^2$，按公式（8-35）计算的端面承压应力为：

$$\sigma_{ce} = \frac{R_{max}}{A_{ce}} = \frac{2255\times 10^3}{60\times 10^2} = 376\text{N/mm}^2 < f_{ce} = 400\text{N/mm}^2$$

支座加劲肋计算截面的特性为：

$$A = A_{ce} + 15t_w t_w = 60 + 15\times 1.4\times 1.4 = 89.4\text{cm}^2$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{12}\times 2\times 30^3}}{89.4} = 7.09\text{cm}$$

$$\lambda_x = \frac{h_0}{i_z} = \frac{170.6}{7.09} = 24$$

此截面分类属 b 类，由表 14-7 查得 $\varphi = 0.939$ 按公式（8-34）计算的稳定为：

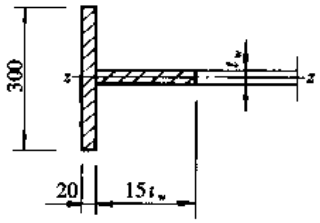


图 8-79　支座加劲肋计算简图

$$\frac{\gamma_{max}}{\varphi A} = \frac{2255\times 10^3}{0.939\times 89.4\times 10^2} = 268.6\text{N/mm}^2 < 300\text{N/mm}^2$$

8. 疲劳计算

$$M_c = 2904\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$I_{nx} = 1984\times 10^3\text{cm}^4$$

（1）最大弯矩（C 点截面）处下翼缘连接焊缝附近主体金属的疲劳应力幅

C 点截面处下翼缘连接焊缝附近主体金属的应力幅为：

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} = \frac{M_c}{I_{nx}}y_1 = \frac{2904\times 10^6}{1984\times 10^3\times 10^4}(1750 - 832 - 22) = 131\text{N/mm}^2$$

由表 8-4 查得 $\alpha_f = 0.8$。并由表 3-31 查得构件和连接类别为 2 类，再按表 8-5 查得循环次数 $n = 2\times 10^6$ 次时的容许应力幅 $[\Delta\sigma]_{2\times 10^6} = 144\text{N/mm}^2$。

按公式（8-5）计算的疲劳应力幅为：

$$\alpha_f\times\Delta\sigma = 0.8\times 131 = 105\text{N/mm}^2 < [\Delta\sigma]_{2\times 10^6} = 144\text{N/mm}^2$$

（2）横向加劲肋下端部附近主体金属的疲劳应力幅。

求横向加劲肋下端部（离腹部下边缘 90mm）附近主体金属的应力幅为（近似取 C 点的 M）：

$$\Delta\sigma = \frac{M_C}{I_{nx}}y_2 = \frac{2904\times 10^6}{1984\times 10^3\times 10^4}(918 - 22 - 100) = 116\text{N/mm}^2$$

由表 8-4 查得 $\alpha_f = 0.8$。并由表 3-31 查得构件和连接类别为 4 类（加劲肋肋端采用回焊、不断弧），再按表 8-5 查得循环次数 $n = 2 \times 10^6$ 时的容许应力幅 $[\Delta\sigma]_{2\times10^6} = 103\text{N/mm}^2$

按公式（8-5）计算的疲劳应力幅为：

$$\alpha_f \cdot \Delta\sigma = 0.8 \times 116 = 92.8\text{N/mm}^2 < [\Delta\sigma]_{2\times10^6} = 103\text{N/mm}^2$$

9. 挠度计算

由荷载标准值（不乘动力系数）并只有一台吊车产生的吊车梁的最大弯矩为：

$$M_x = 2904\text{kN}\cdot\text{m} \quad I_x = 2049 \times 10^3\text{cm}^4$$

按公式（8-36）计算梁的最大挠度为：

$$v = \frac{M_x l^2}{10EI_x} = \frac{2904 \times 10^6 \times 12000^2}{10 \times 206 \times 10^3 \times 2049 \times 10^3 \times 10^4} = 9.9\text{mm}$$

$$\frac{v}{l} = \frac{9.9}{12000} = \frac{l}{1212} < [v] = \frac{l}{1200}$$

由此可见按照本规范计算重级工作制吊车梁其截面由挠度所控制，显然是不经济的。

10. 焊缝连接计算

（1）上翼缘与腹板的连接焊缝

采用焊透的 K 形焊缝，其焊缝质量等级应为二级。因此其强度母材等强度，故可不计算。

（2）下翼缘与腹板的角焊缝

下翼缘截面对中和轴的面积矩为：

$$S_1 = 40 \times 2.2\left(175.0 - 83.2 - \frac{2.2}{2}\right) = 7982\text{cm}^3$$

按公式（8-39b）计算的焊缝焊脚尺寸为：

$$h_f = \frac{V_{max} S_1}{2 \times 0.7 f_t^w I_x} = \frac{2255 \times 10^3 \times 7982 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 200 \times 2049 \times 10^3 \times 10^4} = 3.14\text{mm}$$

采用 8mm

（3）支承加劲肋与腹板的连接焊缝

按公式（8-40b）计算的连接焊缝的焊脚尺寸为：

$$h_f = \frac{1.2R_{max}}{2 \times 0.7 l_w f_t^w} = \frac{1.2 \times 2255 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times (1706 - 15 \times 2 - 2 \times 10) \ 200} = 5.8\text{mm}$$

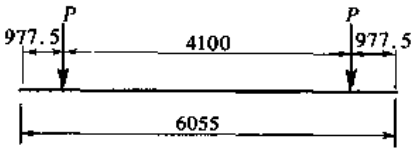
按第 8.4.6 条 4 款的规定：h_f 应不小于 0.7 倍的腹板厚度并不小于 6mm，即 $0.7 \times 14 = 9.8\text{mm}$，故采用 $h_f = 12\text{mm}$。由于这条焊缝非常重要也宜采用 K 形焊缝焊透。

【例题 8-2】 24m 吊车桁架

1. 设计资料

吊车桁架跨度 $l = 24\text{m}$，制动结构采用制动梁，其宽度由吊车梁中心至辅助桁架中心的距离为 1.2m，设有二台 16t/3.2t 中级工作制（A5）吊车，吊车资料按大连起重机厂的最新规格，其资料详见表 8-20，钢材采用 Q235 钢，焊条采用 E4315 或 E4316 型焊条。

表 8-20

吊车起重量 Q (t)	吊车跨度 L_k (m)	台数	工作制	吊钩类别	轮距 (mm)	最大轮压 P_{max} (t)	小车重 g (t)	吊车总重 G (t)	轨道型号
16/3.2	19.5	2	中级 (A5)	软钩		18.5	6.33	27.0	43kg/m

注：吊车为大连重工集团的85系列95确认产品。

2. 吊车荷载计算

吊车竖向荷载的动力系数 μ 为 1.05，吊车荷载分项系数 γ_Q 为 1.4，则吊车荷载设计值为：

$$P = \mu\gamma_Q P_{max} = 1.05 \times 1.4 \times 18.5 = 27.2\text{t} = 267\text{kN}$$

$$H = \gamma_Q \frac{0.05\ (Q+g)}{n} = 1.4\ \frac{0.05\ (16+6.33)}{2} = 0.78\text{t} = 7.64\text{kN}$$

3. 内力计算

(1) 杆件的内力影响线

吊车桁架的几何图形如图 8-80 (a) 所示，吊车荷载作用的位置及各杆件的内力影响线示于图 8-80 (b) 至 8-80 (k) 中。

(2) 杆件的最大轴心力

由表 8-2 查得 $\beta_w = 1.06$，按公式 (8-44) 计算的各杆件最大轴心力为

$$N_{A-C} = \beta_w \Sigma y_1 P = -1.06\ [267\ (0.875+0.704+0.622+0.452)] = -751\text{kN}$$

$$N_{E-G} = -1.06\ [267\ (1.12+1.63+1.88+1.02)] = -1599\text{kN}$$

$$N_{3-4} = 1.06\ [267\ (0.995+1.33+1.5+0.475)] = 1217\text{kN}$$

$$N_{2-3} = 1.06\ [267\ (1.32+2.0+1.674+0.991)] = 1694\text{kN}$$

$$N_{A-1} = 1.06\ [267\ (1.23+0.993+0.878+0.638)] = 1058\text{kN}$$

$$N_{C-1} = -1.06\ [267\ (1.06+0.817+0.708+0.461)] = -862\text{kN}$$

$$N_{C-2} = 1.06\ [267\ (0.88+0.64+0.526+0.285)] = 660\text{kN}$$

$$N_{G-3} = -1.06\ [267\ (0.35+0.11)] = -130\text{kN}$$

$$N_{E-2} = -1.06\ [267\ (0.71+0.467+0.352+0.109)] = -464\text{kN}$$

$$N_{B-1} = -1.06\ [267\ (1+0.348)] = -382\text{kN}$$

(3) 上弦杆的局部弯矩

考虑桁架上弦杆为连续杆件、上弦杆与腹杆在节点处产生的偏心弯矩及桁架下挠对上弦杆的影响，上弦杆的局部弯矩可按第 8.6.2 条的三项弯矩叠加法计算。计算时按两台吊车同时作用，其轮压位置见图 8-80 (c)。

1) 上弦杆作为刚性支座连续梁计算的局部弯矩 M_1

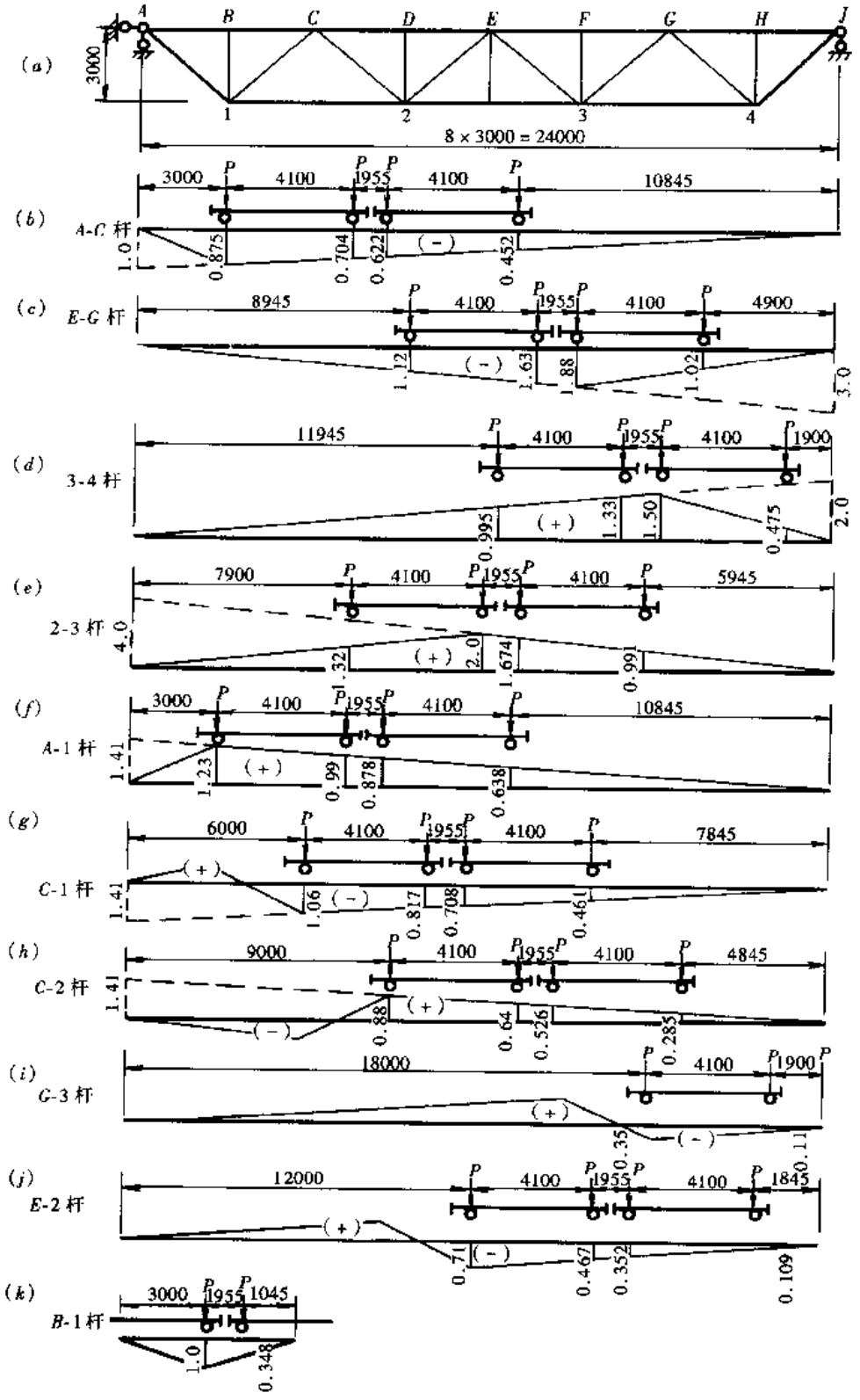


图 8-80 吊车桁架各轴力影响线图

在上弦杆 *E-F* 节间截面 *n* 处的弯矩 M_1 计算如图 8-81 和图 8-82 所示。由图 8-82 得到 *E-F* 节间截面 *n* 处的弯矩为：

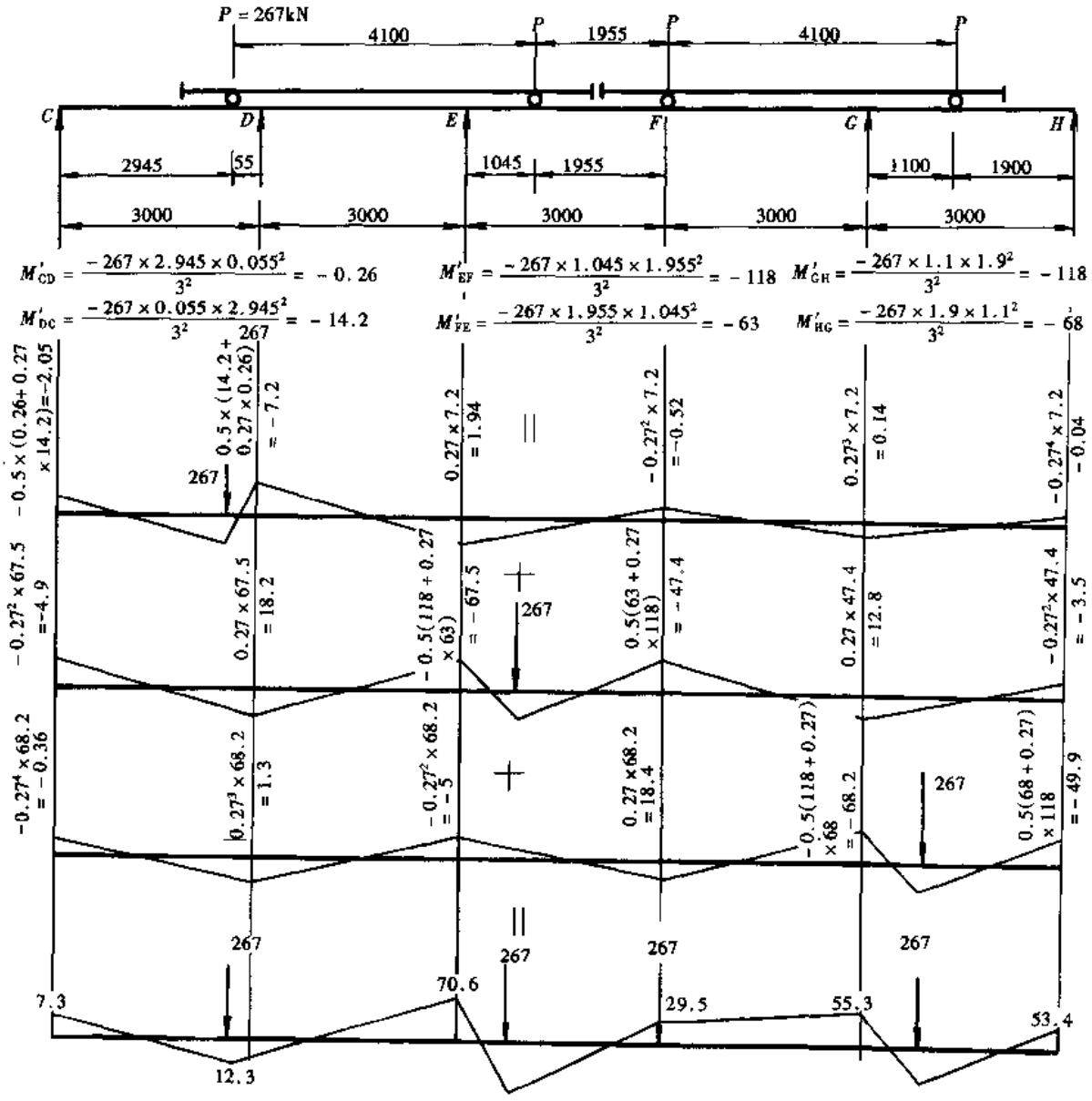


图 8-81　连续上弦杆由吊车荷载引起的弯矩计算简图

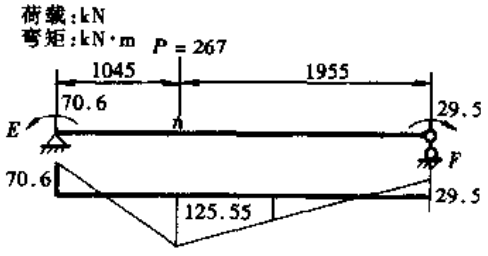


图 8-82　上弦杆 *EF* 节间由吊车荷载引起的弯矩图

由图 8-82 求得 M_1 为：

$$R_E=\frac{(267\times1.955)+70.6-29.5}{3}=187.7\text{kN}$$

$$M_1=(187.7\times1.045)-70.6=125.55\text{kN}\cdot\text{m}$$

2）由桁架腹杆与上弦杆在节点处的连接偏心而引起的弯矩 M_2 按图 8-83 上弦杆的轴心力计算如下：

$$R_A=\frac{267\ (4.9+9.0+10.955+15.055)}{24}=444\text{kN}$$

$$R_J=4\times267-444=624\text{kN}$$

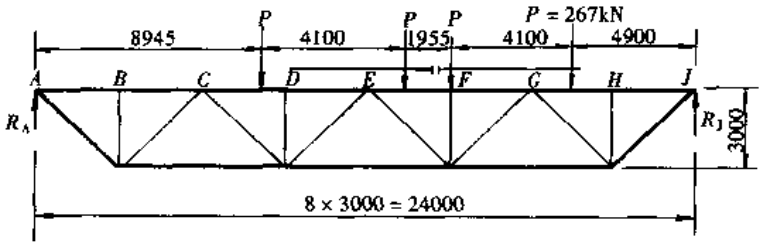


图 8-83 计算上弦杆轴的吊车荷载位置图

$$N_{A-C} = 1.06 \times 444 \times \frac{3}{3} = 470.6\text{kN}$$

$$N_{CE} = 1.06 \times 444 \times \frac{9}{3} = 1412\text{kN}$$

$$N_{E-G} = 1.06\left(\frac{624 \times 9 - 267 \times 4.1}{3}\right) = 1598\text{kN}$$

$$N_{G-J} = 1.06 \times 624 \times \frac{3}{3} = 662\text{kN}$$

设劲性上弦杆的高度 $h = 650\text{mm}$，则偏心距 $e = 325\text{mm}$，各节点在偏心力的作用下，上弦杆各节点处的弯矩计算如图 8-84 所示。

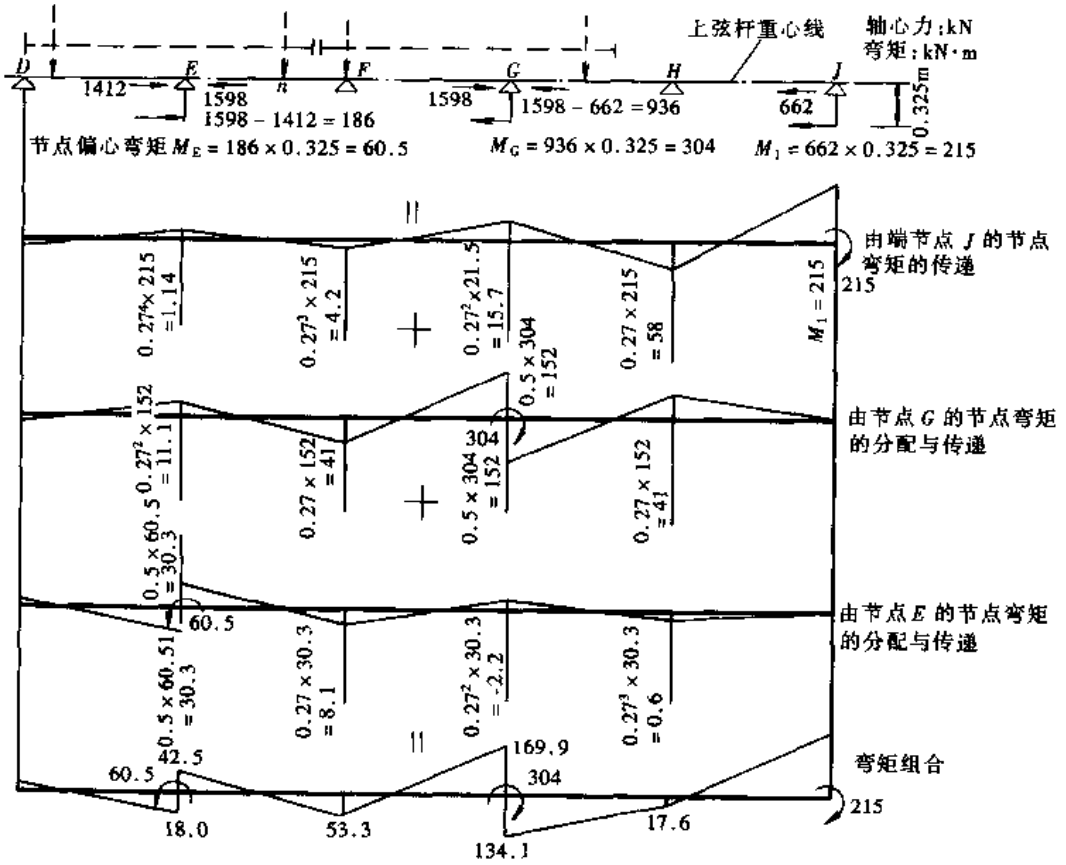


图 8-84 连续上弦杆由轴力引起的节点偏心计算简图

在上弦杆轴心力最大的 *E-F* 节截面 *n* 处的弯矩（图 8-85）为：

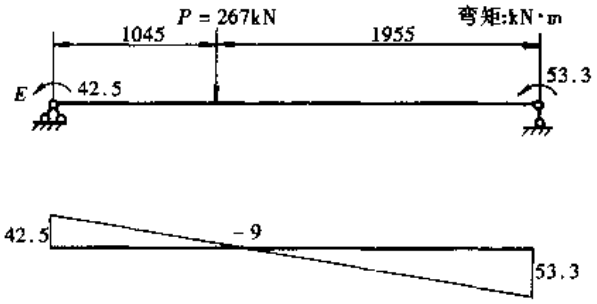


图 8-85　上弦杆 EF 节间由节点偏心引起的弯矩图

$$M_2 = \frac{42.5 + 53.3}{3} \times 1.045 - 42.5 = -9\text{kN}\cdot\text{m}$$

3）由桁架的挠度而引起的上弦杆的弯矩 M_3

劲性上弦杆采用焊接工字形截面（图 8-86a），其高度取 650mm；桁架总高度取 3000mm，下弦杆采用双角钢组成的截面（图 8-86b）。

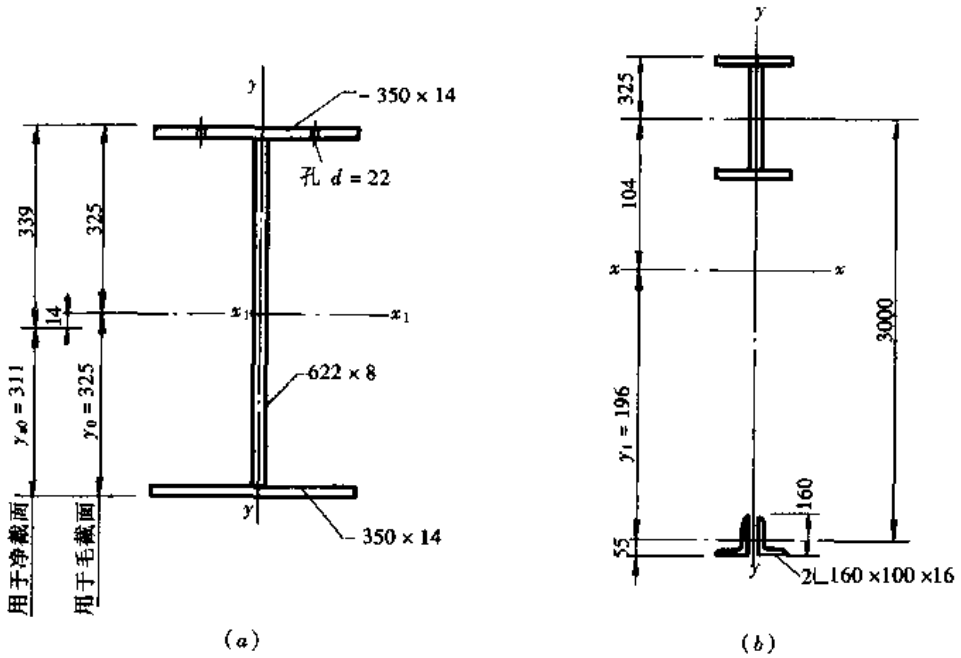


图 8-86　吊车桁架截面图

（a）上弦杆截面；（b）全截面

劲性上弦杆的截面特性为：

$$A_1 = 2 \times 35 \times 1.4 + 62.2 \times 0.8 = 147.8\text{mm}^2$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12} \times 0.8 \times 62.2^3 + 2 \times 35 \times 1.4\left(\frac{62.2}{2} + \frac{1.4}{2}\right)^2 = 115.1 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$W_x^{上} = \frac{115.1 \times 10^3}{32.5} = 3542\text{cm}^3$$

当下弦杆求得的最大内力 $N_{2-3} = 1694\text{kN}$

所需下弦杆的截面面积 $A_2 = \dfrac{1694 \times 10^3}{215 \times 10^2} = 78.8\text{cm}^2$

采用 2∟ 160×100×16　$A_2 = 78.56\text{cm}^2 = 78.8\text{cm}^2$

$$A_2 = 78.56\text{cm}^2$$

$$I_{2x} = 2006\text{cm}^4 \quad i_x = 5.05\text{cm}$$

$$I_{xy} = 2 \times 548.22 = 1096\text{cm}^4 \quad i_y = 4.09\text{cm}$$

桁架全截面的截面特性为：

$$y_1 = \frac{147.8 \times 300}{147.8 + 78.56} = 196\text{cm}$$

$$I_x = 0.8\ (115.1 \times 10^3 + 1147.8 \times 104^2 + 2006 + 78.56 \times 196^2) = 3787 \times 10^3\text{cm}^4$$

按图（8-83）的荷载位置，已算得 $R_J = 624\text{kN}$，桁架全截面 n 处的弯矩为：

$$M_x = 624\ (4.9 + 4.1 + 1.955) - 267\ (1.955 + 6.055) = 4697\text{kN}\cdot\text{m}$$

按公式（8-47）计算的 E-F 节间截面 n 处的弯矩为：

$$M_3 = \frac{M_x I_{x1}}{I_x} = \frac{4697 \times 115.1 \times 10^3}{3787 \times 10^3} = 142.8\text{kN}\cdot\text{m}$$

4）上弦杆 E-F 节间截面 n 处的局部弯矩总值为：

$$M_L = M_1 + M_2 + M_3 = 125.55 + (-9) + 142.8 = 259.4\text{kN}\cdot\text{m}$$

如按近似公式（8-45）计算局部弯矩时，则为：

$$M_L = \frac{1}{3} \times 267 \times 3 = 267\text{kN}\cdot\text{m}$$

由此可见，按本例采用近似法计算与三弯矩计算得结果较接近。

（4）吊车横向水平荷载作用下的弯矩

计算吊车横向水平荷载作用下在上弦杆 E-F 节间截面 n 处的弯矩时，横向水平荷载的作用位置（图 8-87）与计算吊车竖向荷载作用下截面 n 处的弯矩时相同，其弯矩为：

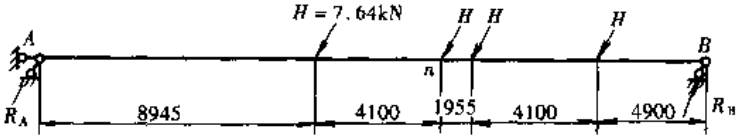


图 8-87 在横向水平荷载下 EF 节间弯矩计算简图

$$R_A = \frac{7.64\ (4.9 + 9.0 + 10.955 + 15.055)}{24} = 12.7\text{kN}$$

$$M_H = 12.7\ (8.945 + 4.1) - 7.64 \times 4.1 = 134.3\text{kN}\cdot\text{m}$$

4. 截面选择

（1）上弦杆

1）平面内的截面（图 8-86a）特性

$$A_1 = 147.8\text{cm}^2$$

$$A_n = 147.8 - 2 \times 2.2 \times 1.4 = 141.6\text{cm}^2$$

$$y_{nn} = \frac{1}{141.6}\ [\ (35 \times 1.4 - 2 \times 2.2 \times 1.4)\ \times 64.3 + 62.2 \times 0.8 \times 32.5 + 35 \times 1.4 \times 0.7]$$
$$= 31.1\text{cm}$$

$$I_{nx1} = (35 \times 1.4 - 2 \times 2.2 \times 1.4)33.2^2 + 35 \times 1.4 \times 30.4^2 + \frac{1}{12} \times 0.8 \times 62.2^3 + 0.8 \times 62.2 \times 1.4^2$$
$$= 108.6 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$W_{nx1}^{上} = \frac{108.6 \times 10^3}{33.9} = 3204\text{cm}^3$$

2）平面外的截面（图 8-88）特性

将劲性上弦杆作为制动梁翼缘板，按第 8.6.3 条第 2 款的规定，其腹板的有效高度为：

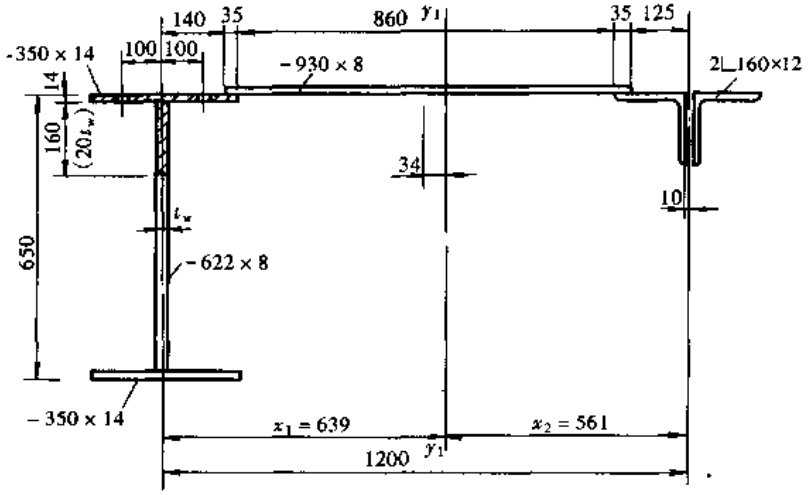


图 8-88　吊车桁架上翼缘和制动梁截面图

$$he = \frac{h}{3} - t_1 = \frac{65}{3} - 1.4 = 20.3\text{cm}$$

$$he = 20t_w\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 20 \times 0.8 \times \sqrt{\frac{235}{235}} = 16\text{cm}$$

取较小值 $he = 16.0\text{cm}$

平面外的截面特性为：

$$A' = 35 \times 1.4 + 16 \times 0.8 + 93 \times 0.8 + 2 \times 37.44 = 211.1\text{cm}^2$$

$$A'_n = 211.1 - 2 \times 2.2 \times 1.4 = 204.9\text{cm}^2$$

$$X_1 = \frac{1}{211.1}(93 \times 0.8 \times 60.5 + 2 \times 37.44 \times 120) = 63.9\text{cm}$$

$$I_{y1} = \frac{1}{12} \times 1.4 \times 35^3 + (35 \times 1.4 + 16 \times 0.8)\ 63.9^2 + \frac{1}{12} \times 0.8 \times 93^3 + 0.8 \times 93 \times 3.4^2 + 2 \times 1640 + 2 \times 37.44 \times 56.1^2$$

$$= 550.2 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$W_{y1} = \frac{550.2 \times 10^3}{17.5 + 63.9} = 6759\text{cm}^3$$

$$I_{ny1} = 550.2 \times 10^3 - 2 \times 2.2 \times 1.4 \times 63.9^2 = 525 \times 10^3\text{cm}^4$$

（重心轴近似地取毛截面的重心轴）

$$W_{ny1} = \frac{525 \times 10^3}{17.5 + 63.9} = 6450\text{cm}^3$$

3）强度计算

$$N_{max} = -1599\text{kN}$$

$$M_L = 259.4\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_H = 134.3\text{kN}\cdot\text{m}$$

按公式（8-49）计算的强度为：

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A_n} + \frac{M_L}{W_{nx1}} + \frac{M_H}{W_{ny1}}$$

$$= \frac{1599\times10^3}{141.6\times10^2} + \frac{259.4\times10^6}{3204\times10^3} + \frac{134.3\times10^6}{6450\times10^3}$$
$$= 214.6\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

4）稳定性计算

$$l_x = 300\text{cm}$$

$$i_{x1} = \sqrt{\frac{I_{x1}}{A_1}} = \sqrt{\frac{115.1\times10^3}{147.8}} = 27.91\text{cm}$$

$$\lambda_{x1} = \frac{300}{27.91} = 10.75$$

$$i_{y1} = \sqrt{\frac{I_{y1}}{A'}} = \sqrt{\frac{550.2\times10^3}{211.1}} = 51.1\text{cm}$$

$$\lambda_{y1} = \frac{2400}{51.1} = 46.97 < 120$$

此截面属于 b 类，由表 14-3 查得 $\varphi_y = 0.87$ 按公式（8-52）计算的稳定性为：

$$\frac{N}{\varphi_y A_1} + \frac{M_L}{W_{x1}^{上}} + \frac{M_N}{W_{y1}} = \frac{1599\times10^3}{0.87\times147.8\times10^2} + \frac{259.4\times10^6}{3542\times10^3} + \frac{134.3\times10^6}{6759\times10^3}$$
$$= 217\text{N/mm}^2 \doteq 215\text{N/mm}^2 \quad \text{可。}$$

（2）下弦杆和腹杆

下弦杆和腹杆的截面选择见表 8-21。

吊车桁架下弦杆和腹杆的截面选用表 **表 8-21**

杆件名称	杆件号	计算内力（kN）	计算长度（cm）		选用截面			最大长细比	容许长细比
			l_{ox}	l_{oy}	规格（mm）	截面面积 A（cm²）	杆件的承载力设计值 N_{max}（kN）	λ_{max}	$[\lambda]$
下弦杆	2-3	1694	600	800	⌊⌊ 2L160×100×16	78.56	$78.56\times10^2\times\frac{215}{1000}=1689$	194	200
斜腹杆	A-1	1058	424	424	⌐⌐ 2L110×12	50.4	$50.4\times10^2\times\frac{215}{1000}=1084$	127	200
	C-1	−862	0.8×424=339	424	⌐⌐ 2L140×12	65.02	−972	79	150
	C-2 或 G-3	660	339	424	⌐⌐ 2L110×8	34.48	$34.48\times10^2\times\frac{215}{1000}=741$	100	300
		−130	339	424			−411	100	150
	F-2	−464	339	424	⌐⌐ 2L125×8	39.50	−541	87	150
竖腹杆	B-1 O-2	−382	0.8×300=240	300	⌐⌐ 2L100×8	31.28	−472	8	150

注：表中受压杆件的承载力设计值 N_{max} 系按表 19-9 查得，取对 x 轴和对 y 轴承载力设计值的较小值。

根据端斜杆的内力，按表 8-9 查得节点板厚度为 14mm，支座节点板为 16mm。如要时可按公式（7-45）～（7-48）进行验算。

5. 疲劳计算

在一台吊车标准荷载（不考虑动力系数）作用下，下弦杆 2-3 的吊车荷载最不利位置如图 8-80（a）所示，吊车荷载及下弦杆 2-3 的轴心力为：

$$P = 18.5\text{t} = 181.3\text{kN}$$

$$N_{2\,3} = 181.3\ (1.32 + 2)\ = 602\text{kN}$$

下弦杆 2-3 在节点板和填板附近主体金属的应力幅为：

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = \frac{N_{2\text{-}3}}{A} = \frac{602 \times 10^3}{78.56 \times 10^2} = 76.6\text{N/mm}^2$$

由表 8-30 查得 $\alpha_f = 0.5$。由表 3-31 查得构件和连接类别为 8 类，再按表 3-29 查得循环次数 $n = 2 \times 10^6$ 时的容许应力幅为 $[\Delta\sigma]_{2\times10^6} = 59\text{N/mm}^2$

按公式（8-5）计算的下弦杆 2-3 疲劳应力幅为：

$$\alpha_f \Delta\sigma = 0.5 \times 76.6 = 38.3\text{N/mm}^2 < [\Delta\sigma]_{2\times10^6} = 59\text{N/mm}^2$$

6. 挠度计算

计算挠度时按最大一台吊车作用于桁架上，吊车作用的位置按图 8-80（c）取用，由吊车荷载标准值（不乘动力系数）和吊车桁架自重、轨道等所产生的弯矩为：

$$P = 18.5\text{t} = 181.3\text{kN}$$

$$R_A = 181.3\ (12 + 16.1)\ /24.0 = 212.3\text{kN}$$

$$M = \ (212.3 \times 12 - 181.3 \times 4.1)\ 1.06 = 1913\text{kN}\cdot\text{m}$$

按公式（8-56）计算的最大挠度为：

$$v = \frac{Ml^2}{8EI_x} = \frac{1913 \times 10^6 \times 24000^2}{8 \times 206 \times 10^3 \times 3787 \times 10^3 \times 10^4} = 17.6\text{mm}$$

$$\frac{v}{l} = \frac{17.6}{24000} = \frac{1}{1364} < [v] = \frac{1}{1000}$$

【例题 8-3】 6m 工字形吊车梁

1. 设计资料

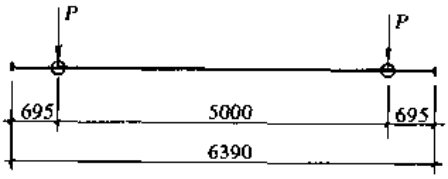


图 8-89　吊车轮距及宽度

（1）吊车梁跨度 6m，无制动结构，支承于钢柱，采用平板支座，设有二台起重量 $Q = 16\text{t}/3.2\text{t}$ 中级工作制（A5）软钩吊车，吊车跨度 $L_k = 31.5\text{m}$，钢材采用 Q235，焊条为 E43 型。

（2）吊车采用大连大起集团有限责任公司的 85 系列 95 确认产品。吊车规格：吊车宽度 $B = 6390\text{mm}$，轮距 $BQ = 5000\text{mm}$，小车重 $g = 6.326\text{t}$，吊车总重 $G = 41.0\text{t}$，最大轮压 $P_{\max} = 22.3\text{t}$ 吊车轮压及轮距见图 8-89。

2. 吊车荷载计算

吊车荷载的动力系数 μ 为 1.05，吊车荷载的分项系数 γ_Q 为 1.40。

吊车荷载设计值为：

$$P = \mu\gamma_Q \cdot P_{\max} = 1.05 \times 1.4 \times 22.3 \times 9.8 = 321.25\text{kN}$$

$$H = \gamma_Q \frac{0.05\ (Q + g)}{n} = 1.4 \frac{0.05\ (16 + 6.326)\ \times 9.8}{2} = 7.66\text{kN}$$

3. 内力计算

(1) 吊车梁的最大弯矩及相应力剪力

产生最大弯矩的荷载位置如图 8-90，梁上所有吊车荷载的合力 ΣP 位置为：

$$a_1 = B - B_Q = 6390 - 5000 = 1390\text{mm}$$

$$a_2 = \frac{a_1}{4} = \frac{1390}{4} = 347.5\text{mm}$$

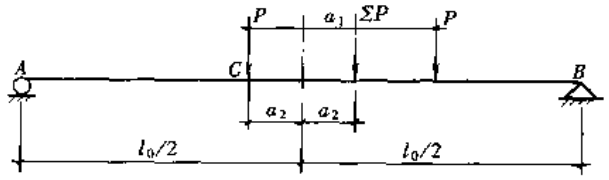


图 8-90 吊车梁最大弯矩计算简图

自重影响系数 β_w 取 1.03，c 点的最大弯矩为：

$$M_{max} = \beta_w \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_2\right)^2}{l} = \frac{2 \times 321.25\left(\frac{6}{2} - 0.348\right)^2}{6} \times 1.03 = 776\text{kN}\cdot\text{m}$$

在 M_{max} 处相应的剪力为：

$$V = \beta_w \frac{\Sigma P\left(\frac{l}{2} - a_2\right)}{l} = 1.03 \frac{2 \times 321.25\left(\frac{6}{2} - 0.348\right)}{6} = 293\text{kN}$$

(2) 最大剪力

荷载位置见图 8-91

$$V_{max} \approx R_A$$

$$= 1.03\left(\frac{321.25 \times 4.61}{6} + 321.25\right)$$

$$= 585\text{kN}$$

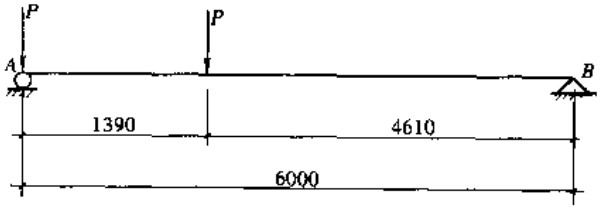


图 8-91 吊车梁最大剪力计算简图

(3) 由水平荷载产生的最大弯矩

$$M_H = \frac{H}{P} M_{max} = \frac{7.66}{321.25} \times \frac{776}{1.03} = 18\text{kN}$$

4. 截面选择

(1) 经济高度按公式 (8-23) 计算

$$h_{ec} = 7^3\sqrt{W} - 300\text{mm} = 7^3\sqrt{\frac{1.2 \times 766 \times 10^6}{215}} - 300 = 836\text{mm}$$

(2) 按容许挠度值按公式 (8-24) 计算

$$h_{min}=0.6fl\left(\frac{1}{[v]}\right)10^{-6}=0.6\times215\times6000\times1000\times10^{-6}=774\text{mm}$$

采用 750mm

(3) 吊车梁腹板厚度 t_w 按公式 (8-25) 计算

$$t_w=\frac{1}{3.5}\sqrt{h_0}=\frac{1}{3.5}\sqrt{750-2\times16}=7.7\text{mm}$$

按剪力确定腹板厚度按公式 (8-26) 计算

$$t_w=\frac{1.2V_{max}}{h_0f_v}=\frac{1.2\times585\times10^3}{718\times125}=7.82\text{mm}$$

(4) 吊车梁翼缘尺寸可近似地按公式 (8-27) 计算

$$A_1=\frac{W}{h_0}-\frac{1}{6}h_0t_w=\frac{1.2\times766\times10^6}{215\times718}-\frac{1}{6}718\times8=4997\text{mm}^2$$

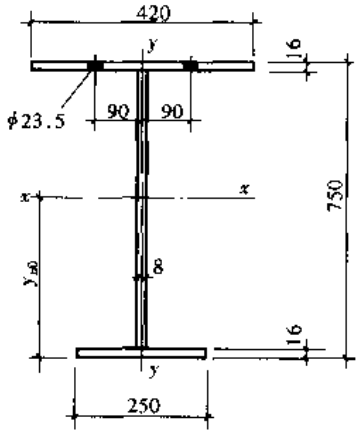


图 8-92　吊车梁截面图

采用 420 × 16

5. 截面特性

吊车梁截面见图 8-92

(1) 毛截面特性

$$A=42\times1.6+25\times1.6+71.8\times0.8=164.64\text{cm}^2$$

$$y_0=\frac{42\times1.6\times74.2+25\times1.6\times0.8+71.8\times0.8\times37.5}{164.64}$$

$$=43.6\text{cm}$$

$$I_x=\frac{1}{12}\times42\times1.6^3+42\times1.6\ (75-43.6-0.8)^2+\frac{1}{12}25\times1.6^3+25\times1.6\ (43.6-0.8)^2+\frac{1}{12}\times0.8\times71.8^3+71.8\times0.8\left(43.6-\frac{75}{2}\right)^2=163\times10^3\text{cm}^4$$

$$S=42\times1.6\ (75-43.6-0.8)+(75-43.6-1.6)^2\times\frac{0.8}{2}=2.41\times10^3\text{cm}^3$$

$$W_x=\frac{163\times10^3}{75-43.6}=5.19\times10^3\text{cm}^3$$

(2) 净截面特性

$$A_n=(42-2\times2.35)\ 1.6+25\times1.6+(75-3.2)\ 0.8=157.12\text{cm}^2$$

$$y_{n0}=\frac{37.3\times1.6\times74.2+25\times1.6\times0.8+71.8\times0.8\times37.5}{157.12}=42.1\text{cm}$$

$$I_{nx}=\frac{1}{12}(37.3)\ (1.6)^3+37.3\times1.6\ (75-42.1-0.8)^2+\frac{1}{12}\times25\times1.6^3+25\times1.6\ (42.1-0.8)^2+\frac{1}{12}\times0.8\times71.8^3+71.8\times0.8\ (42.1-37.5)^2$$

$$=155.7\times10^3\text{cm}^4$$

$$W_{nx}^{上}=\frac{155.7\times10^3}{32.9}=4734\text{cm}^3$$

$$W_{nx}^{下}=\frac{155.7\times10^3}{42.1}=3698\text{cm}^3$$

上翼缘对 y 轴的特性：

$$A_F = 42 \times 1.6 = 67.2\text{cm}^2$$

$$A_n^上 = (42 - 2 \times 2.35) \times 1.6 = 59.7\text{cm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times 1.6 \times 42^3 = 9878\text{cm}^4$$

$$I_{ny} = 9878 - 2 \times 2.35 \times 1.6 \times 9 = 9268\text{cm}^4$$

$$W_{ny} = \frac{9268}{21} = 441\text{cm}^3$$

$$W_y = \frac{9878}{21} = 470\text{cm}^3$$

6. 强度计算

(1) 正应力

按公式 (8-28) 计算上翼缘正应力为：

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^上} + \frac{M_H}{W_{ny}} = \frac{776 \times 10^6}{4734 \times 10^3} + \frac{18 \times 10^6}{441 \times 10^3} = 205\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

按公式 (8-31) 计算下翼缘正应力为：

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}^下} = \frac{776 \times 10^6}{3698 \times 10^3} = 210\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

(2) 剪应力

按公式 (3-3) 计算平板支座的剪应力为：

$$\tau = \frac{V_{max} S}{I_x t_w} = \frac{585 \times 10^3 \times 2.41 \times 10^3 \times 10^3}{163 \times 10^3 \times 10^4 \times 8} = 108\text{N/mm}^2 < 125\text{N/mm}^2$$

(3) 腹板的局部压应力

采用 43kg/m 钢轨，轨高为 140mm

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R = 50 + 5 \times 16 + 2 \times 140 = 410\text{mm};$$

集中荷载增大系数 $\psi = 1.0$，$F = P = 321.25\text{kN}$

按公式 (3-4) 计算腹板局部压应力为：

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_z} = \frac{1 \times 321.25 \times 10^3}{8 \times 410} = 98\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

(4) 腹板计算高度边缘处的折算应力　按公式 (3-5) 计算能满足，过程略。

7. 稳定计算

(1) 梁的整体稳定性

$l_1/b = \frac{6000}{420} = 14.2 > 13$　应计算梁的整体稳定性按表 3-5

$$\xi_1 = \frac{l_1 \cdot t}{b_1 h} = \frac{6000 \times 16}{420 \times 750} = 0.305 < 2.0$$

$$\beta_b = 0.73 + 0.18 \times 0.305 = 0.785$$

$$I_1 = \frac{1}{12} \times 1.6 \times 42^3 = 9878\text{cm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \times 1.6 \times 25^3 = 2083\text{cm}^4$$

按表 3-4

$$\alpha_b = \frac{I_1}{I_1 + I_2} = \frac{9878}{9878 + 2083} = 0.826 > 0.80$$

$$\xi = 0.305 < 0.5 \quad \beta_b = 0.785 \times 0.9 = 0.707$$

$$n_b = 0.8\ (2\alpha_b - 1)\ = 0.8\ (2 \times 0.826 - 1)\ = 0.522$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_1 + I_2}{A}} = \sqrt{\frac{9878 + 2083}{164.64}} = 8.52\text{cm}$$

$$\lambda_y = l/i_y = \frac{600}{8.52} = 70.4$$

按公式（3-8）计算整体稳定系数 φ_b 为：

$$\varphi_b = \beta_b \frac{4320}{\lambda_y^2} \cdot \frac{Ah}{W_x}\left[\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_y t_1}{4.4h}\right)^2} + \eta_b\right]$$

$$= 0.707 \frac{4320}{(70.4)^2} \cdot \frac{164.64 \times 75}{5.19 \times 10^3}\left[\sqrt{1 + \left(\frac{70.4 \times 1.6}{4.4 \times 75}\right)^2} + 0.522\right]$$

$$= 2.40 > 0.6$$

按表 3-7

$$\varphi'_b = 1.07 - \frac{0.282}{2.4} = 0.95$$

按公式（8-33）计算整体稳定性

$$\sigma = \frac{766 \times 10^6}{0.95 \times 5.19 \times 10^3 \times 10^3} + \frac{18 \times 10^6}{470 \times 10^3} = 193.7\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

（2）腹板的局部稳定性

$$h_0/t_w = 71.8/0.8 = 89.75 \begin{matrix} > 80 \\ < 170 \end{matrix} \text{应配置横向加劲肋}$$

取加劲肋间距 $a = 1000\text{mm}$，加劲肋宽 $b_s = 90\text{mm}$

$$t_s = \frac{b_s}{15} = 6\text{mm}$$

计算跨中处，吊车梁腹板计算高度边缘的弯曲压应力为：

$$\sigma = \frac{Mh_c}{I} = \frac{766 \times 10^6\ (75 - 43.6 - 1.6)\ 10}{163 \times 10^3 \times 10^4} = 140\text{N/mm}^2$$

腹板的平均剪应力为：

$$\tau = \frac{293 \times 10^3}{71.8 \times 0.8 \times 10^2} = 51\text{N/mm}^2$$

腹板边缘的局部压应力为：

$$\sigma_c = \frac{0.9 \times 321.25 \times 10^3}{8 \times 410} = 88\text{N/mm}^2$$

1）计算 σ_{cr}

$$\lambda_b = \frac{C_f 2h_c/t_w}{153} = \frac{1 \times 2\ (75 - 43.6 - 1.6)\ /0.8}{153} = 0.487 < 0.85$$

$$C_f = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1 \quad \text{则 } \sigma_{cr} = f = 215\text{N/mm}^2$$

2）计算 τ_{cr}

$$a/h_0 = 1000/718 = 1.393 > 1.0$$

$$\lambda_s = \frac{C_f h_0/t_w}{41\sqrt{5.34+4\ (h_0/a)^2}} = \frac{1\times 71.8/0.8}{41\sqrt{5.34+4\ (71.8/100)^2}} = 0.805 > 0.8$$

$$\tau_{cr} = [1-0.59\ (\lambda_s - 0.8)]\ f_v = [1-0.59\ (0.805-0.8)]\ 125 = 124.63\text{N/mm}^2$$

3）计算 σ_{ccr}

$$a/h_0 = 1.393 > 0.5$$

$$\lambda_c = \frac{C_f h_0/t_w}{28\sqrt{10.9+13.4\ (1.83-a/h_0)^3}} = \frac{1\times 71.8/0.8}{28\sqrt{10.9+13.4\ (1.83-100/71.8)^3}}$$

$$= 0.925 > 0.9$$

则 $\sigma_{ccr} = [1-0.79\ (\lambda_c - 0.9)]\ f = [1-0.79\ (0.925-0.9)]\ 215 = 211\text{N/mm}^2$

按公式（3-16）计算跨中区格的局部稳定性为：

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 + \frac{\sigma_c}{\sigma_{ccr}} \leqslant 1$$

$$\left(\frac{140}{215}\right)^2 + \left(\frac{51}{124.63}\right)^2 + \frac{88}{211} = 1.01 > 1 \text{ 可。}$$

8. 挠度计算

按一台吊车计算挠度，因一台轮距为 5m，所以求一台吊车的最大弯矩只能一个吊车轮压作用在梁上。

$$M_0 = \frac{1}{4} P_{max} l \beta_w = \frac{1}{4} 22.3\times 9.8\times 6\times 1.03 = 337.6\text{kN}\cdot\text{m}$$

按公式（8-36）计算

$$v = \frac{Ml}{10EI_x} = \frac{337.6\times 10^6\times 6000^2}{10\times 2.06\times 10^5\times 163\times 10^3\times 10^4} = 3.6\text{mm}$$

$$\frac{v}{l} = \frac{3.6}{6000} = \frac{l}{1667} < [v] = \frac{l}{1000}$$

9. 支座加劲肋计算

取支座加劲肋为 2 - 110 × 10mm。按公式（8-35）计算支座加劲肋的端面承压应力为：

$$\sigma_{ce} = \frac{R_{max}}{A_{ce}} = \frac{585\times 10^3}{2\ (110-15)\ \times 10} = 308\text{N/mm}^2 < f_{ce} = 325\text{N/mm}^2$$

稳定计算：

$$A = (40+10+120)\times 8 + 2\times 110\times 10 = 3560\text{mm}^2$$

$$I_Z = \frac{1}{12} 10\times (2\times 110+8)^3 + \frac{1}{12}\ (40+120)\ \times 8^3 = 9.88\times 10^6\text{mm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{9.88\times 10^6}{3560}} = 52.6\text{mm}$$

$$\lambda_z = \frac{h_0}{i_z} = \frac{718}{52.6} = 13.6$$

属 b 类截面，查表 14-3，得 $\varphi = 0.985$，按公式（8-34）计算支座加劲肋在腹板平面外的稳定性；

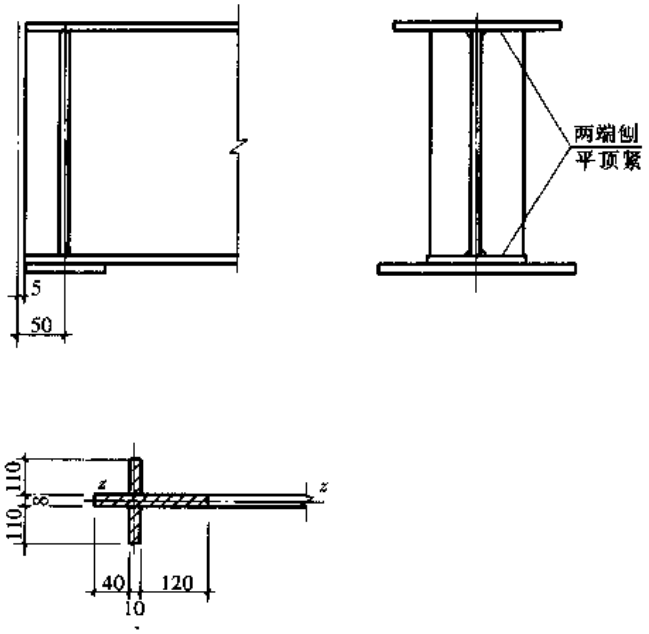


图 8-93　吊车梁支座构造

$$\sigma = \frac{R_{max}}{\varphi A} = \frac{585 \times 10^3}{0.985 \times 3560} = 167\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

10. 焊缝计算

(1) 上翼缘与腹板的连接焊缝

$$h_f = \frac{1}{2 \times 0.7 f_f^w}\sqrt{\left(\frac{VS_1}{I}\right)^2 + \left(\frac{\psi P}{l_z}\right)^2}$$

$$= \frac{1}{2 \times 0.7 \times 160}\sqrt{\left[\frac{585 \times 10^3 \times 42 \times 1.6\ (75 - 43.6 - 0.8)\ \times 10^3}{163 \times 10^3 \times 10^4}\right]^2 + \left(\frac{1 \times 321.25 \times 10^3}{410}\right)^2}$$

= 4.8mm 取 8mm

(2) 下翼缘板与腹板的连接焊缝

$$h_f = \frac{VS_1}{2 \times 0.7 f_f^w I_x}$$

$$= \frac{585 \times 10^3 \times 25 \times 1.6\ (43.6 - 0.8)\ \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 160 \times 163 \times 10^7}$$

= 2.7mm 取 6mm

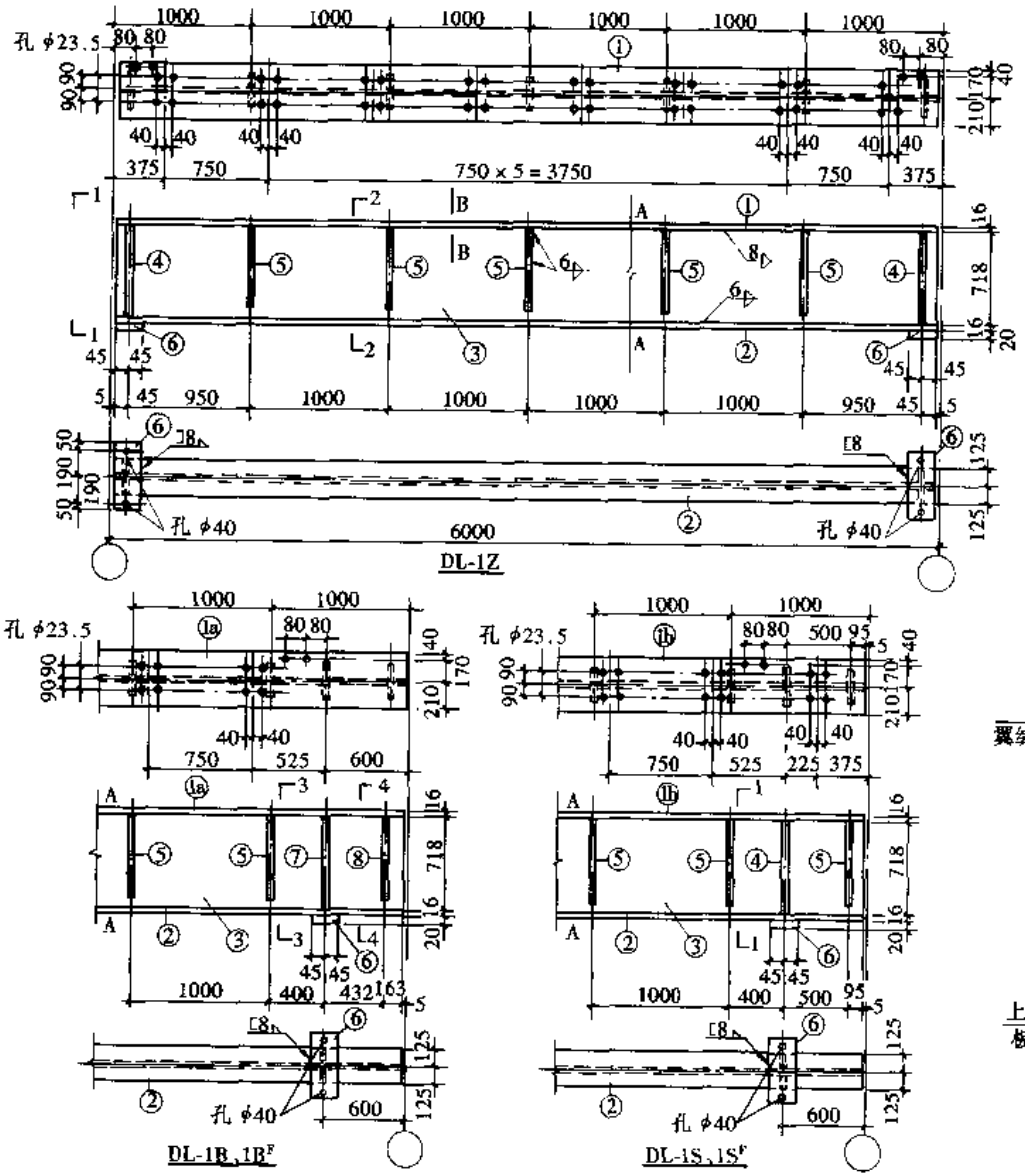
(3) 支座加劲肋与腹板的连接焊缝

设 $h_f = 8$　$h_f = \dfrac{R_{max}}{0.7n \cdot l_w f_f^w} = \dfrac{585 \times 10^3}{0.7 \times 4\ (71.8 - 2 \times 1.5 - 2 \times 0.8)\ 160 \times 10} = 1.94\text{mm}$

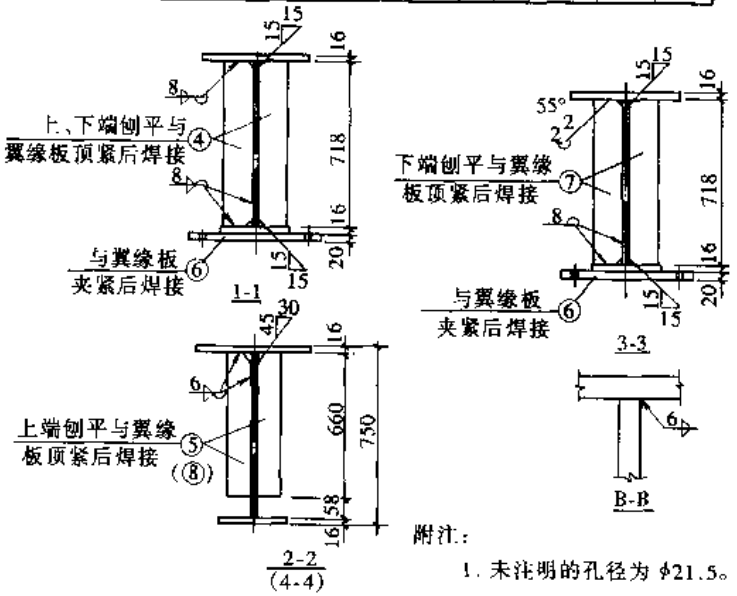
采用 8mm

吊车梁详图见图 8-94。

吊车梁布置图及安装节点图见图 8-95 ~ 图 8-97。



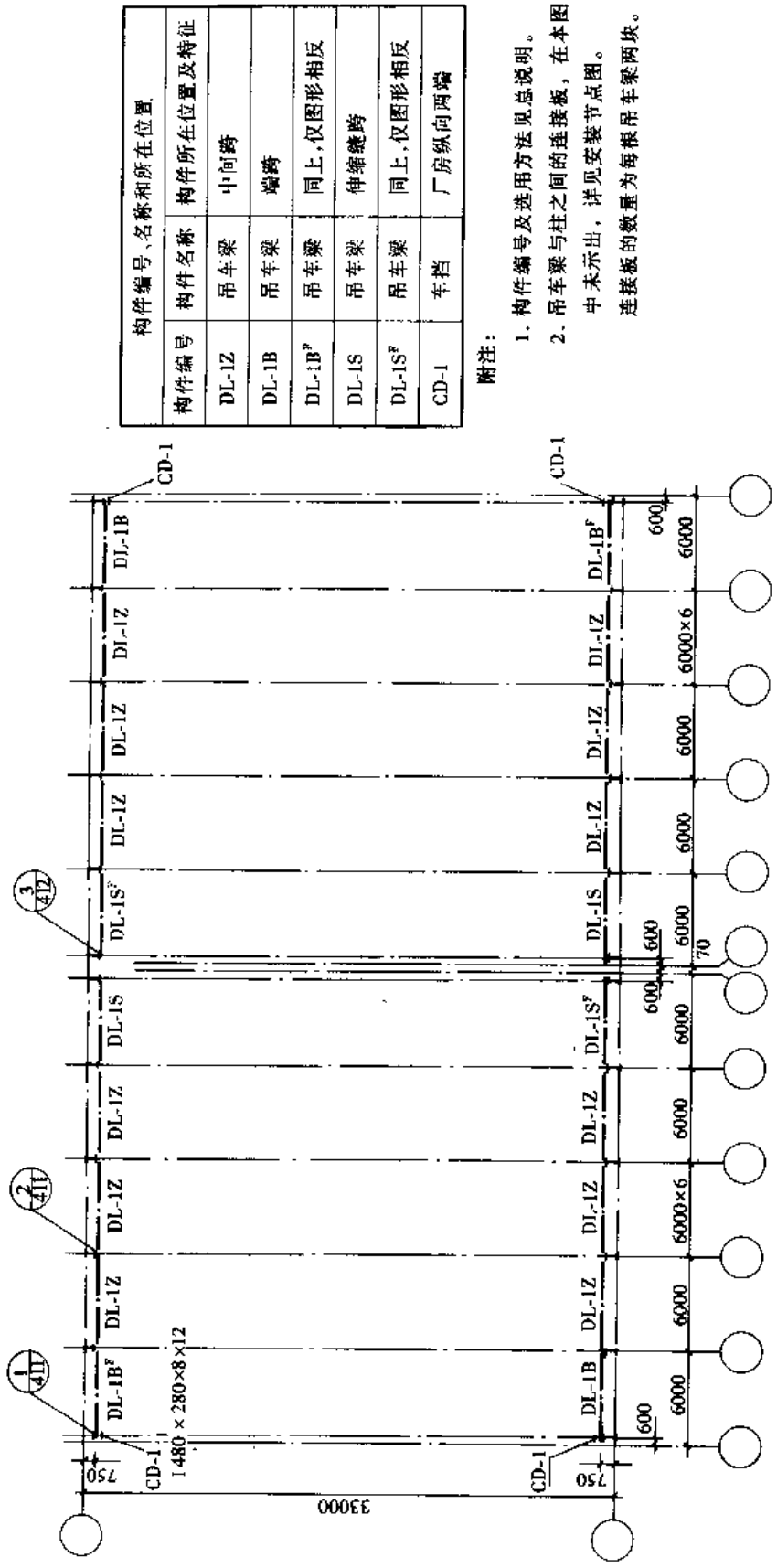
材料表								
构件编号	零件号	规格	长度 (mm)	数量 正	数量 反	重量(kg) 单重	重量(kg) 共重	总重
DL-1Z	1	-420×16	5990	1		316.0	316	850
	2	-250×16	5990	1		188.1	188	
	3	-718×8	5990	1		270.1	270	
	4	-110×10	718	4		6.2	25	
	5	-90×8	660	10		3.7	37	
	6	-90×20	480	2		6.8	14	
DL-1B、1B^F	1a	-420×16	5990	1		316.0	316	860
	2	-250×16	5990	1		188.1	188	
	3	-718×8	5990	1		270.1	270	
	4	-110×10	718	2		6.2	12	
	5	-90×8	660	10		3.7	37	
	6	-90×20	480	2		6.8	14	
	7	-110×10	718	2		6.2	12	
	8	-110×10	660	2		5.7	11	
DL-1S、1S^F	1b	-420×16	5990	1		316.0	316	857
	2	-250×16	5990	1		188.1	188	
	3	-718×8	5990	1		270.1	270	
	4	-110×10	718	4		6.2	25	
	5	-90×8	660	12		3.7	44	
	6	-90×20	480	2		6.8	14	



附注：

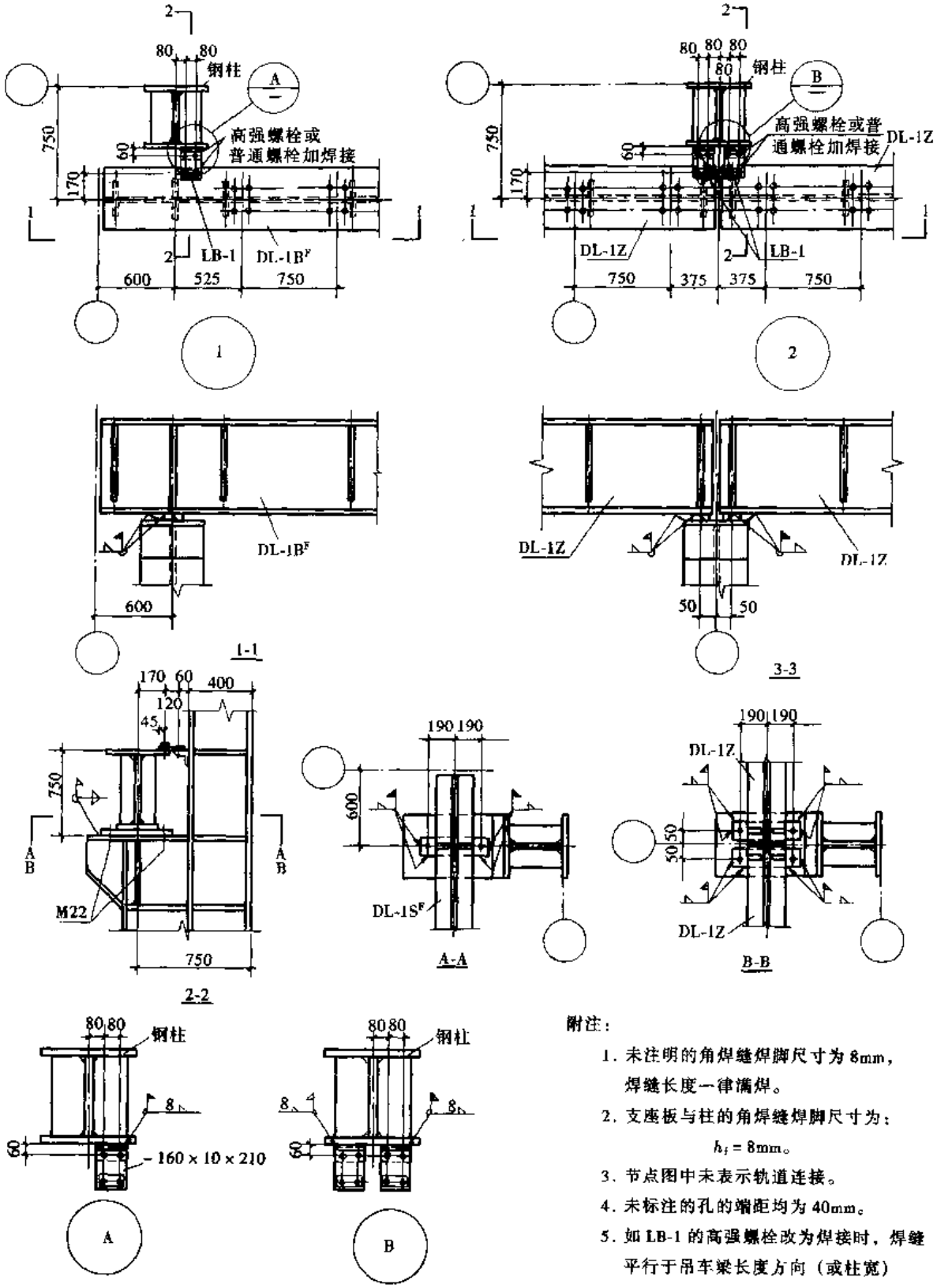
1. 未注明的孔径为 φ21.5。

图 8-94 吊车梁详图



吊车梁系统构件布置及其编号示意图

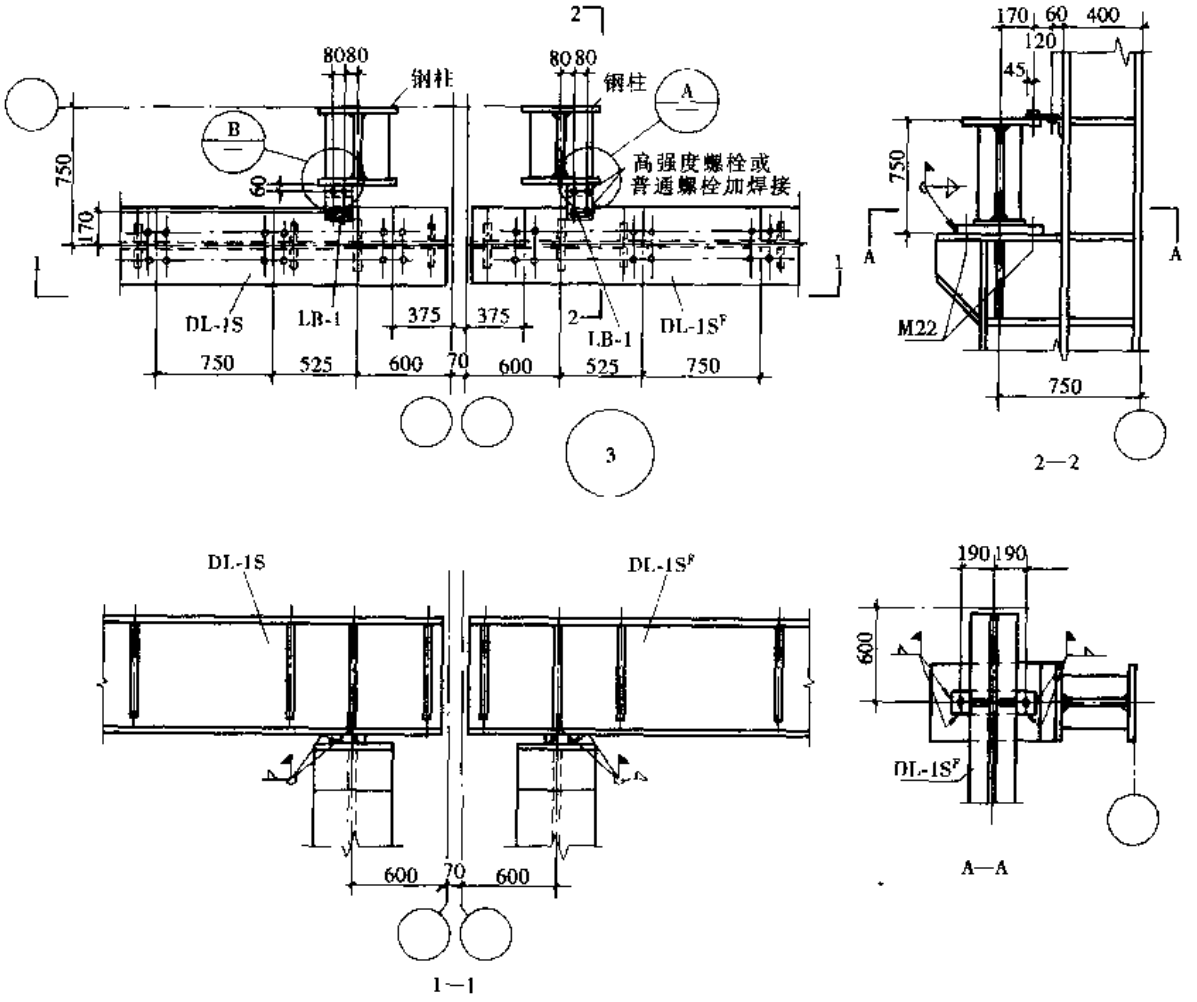
图 8-95　吊车梁布置图

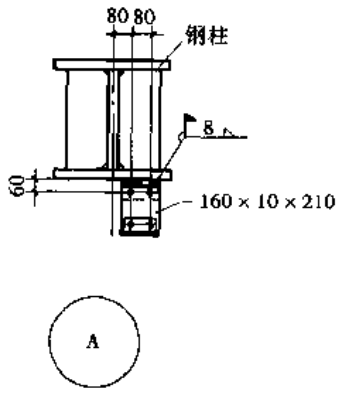


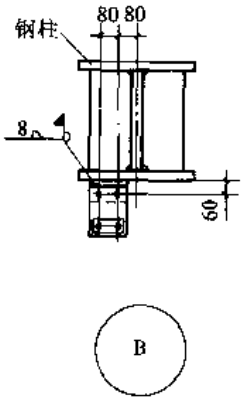
附注：

1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 8mm，焊缝长度一律满焊。
2. 支座板与柱的角焊缝焊脚尺寸为：$h_f = 8\text{mm}$。
3. 节点图中未表示轨道连接。
4. 未标注的孔的端距均为 40mm。
5. 如 LB-1 的高强螺栓改为焊接时，焊缝平行于吊车梁长度方向（或柱宽）

图 8-96 吊车梁安装节点图（一）







附注：

1. 未注明的角焊缝焊脚尺寸为 8mm，焊缝长度一律满焊。
2. 支座板与柱的角焊缝焊脚尺寸为：$h_f = 8\text{mm}$。
3. 节点图中未表示轨道连接。
4. 未标注的孔的端距均为 40mm。
5. 如 LB-1 的高强螺栓改为焊接时，焊缝平行于吊车梁长度方向（或柱宽）

图 8-97　吊车梁安装节点图（二）

9 门 式 刚 架

9.1 刚架特点及适用范围

9.1.1 刚架特点

刚架结构是梁、柱单元构件的组合体。其形式种类多样，在单层工业与民用房屋的钢结构中，应用较多的为单跨、双跨或多跨的单、双坡门式刚架。根据需要，可带挑檐或毗屋，如图 9-1 所示。根据通风、采光的需要，这种刚架厂房可设置通风口、采光带和天窗架等。单跨刚架的跨度国内最大已达到 72m。

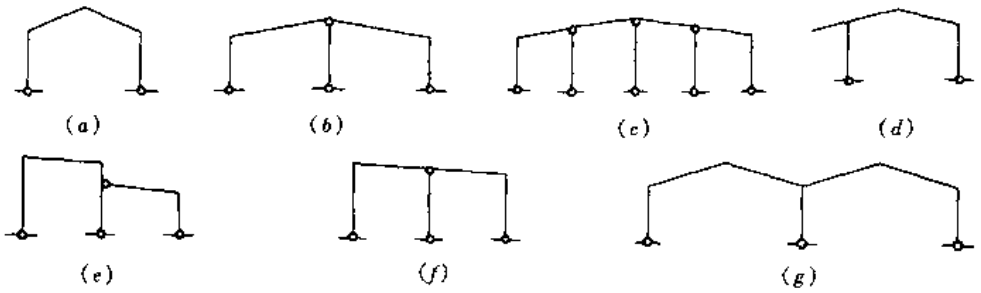


图 9-1 门式刚架的形式

(a) 单跨双坡；(b) 双跨双坡；(c) 四跨双坡；(d) 单跨双坡带挑檐；
(e) 双跨单坡（毗屋）；(f) 双跨单坡；(g) 双跨四坡

门式刚架结构有以下特点：

1. 采用轻型屋面，可减小梁柱截面及基础尺寸；

2. 在大跨建筑中增设中间柱做成一个屋脊的多跨大双坡屋面，以避免内天沟排水。中间柱可采用钢管制作的上下铰接摇摆柱，占空间小。

3. 刚架侧向刚度可藉檩条和墙梁的隅撑保证，以减少纵向刚性构件和减小翼缘宽度。

4. 跨度较大的刚架可采用改变腹板高度、厚度及翼缘宽度的变截面。

5. 刚架的腹板允许其部分失稳，利用其屈曲后的强度，即按有效宽度设计，可减小腹板厚度，不设或少设横向加劲肋。

6. 竖向荷载通常是设计的控制荷载，地震作用一般不起控制作用。但当风荷载较大或房屋较高时，风荷载的作用不应忽视。

7. 为使非地震区支撑做得轻便，可采用张紧的圆钢。

8. 结构构件可全部在工厂制作，工业化程度高。构件单元可根据运输条件划分，单元之间在现场用螺栓连接，安装方便快速，土建施工量小。

9.1.2 适用范围

门式刚架通常用于跨度 9～36m、柱距 6m、柱高 4.5～12m、设有吊车起重量较小的单层工业房屋或公共建筑（超市、娱乐体育设施、车站候车室、码头建筑）。设置桥式吊车

时，宜为起重量不大于20t的中、轻级工作制（$A_1 \sim A_5$）的吊车；设置悬挂吊车时，其起重量不宜大于3t。

9.2　结构形式及有关要求

9.2.1　结构形式

门式刚架的结构形式是多种多样的。按构件体系分，有实腹式与格构式；按截面形式分，有等截面和变截面；按结构选材分，有普通型钢、薄壁型钢、钢管或钢板焊成的。实腹式刚架的截面一般为工字形；格构式刚架的截面为矩形或三角形。

门式刚架的横梁与柱为刚接，柱脚与基础宜采用铰接；当设有桥式吊车、檐口标高较高或刚度要求较高时，柱脚与基础可采用刚接。

变截面与等截面相比，前者可以适应弯矩变化，节约材料，但在构造连接及加工制造方面，不如等截面方便，故当刚架跨度较大或房屋较高时才设计成变截面。

9.2.2　建筑尺寸

1. 门式刚架轻型房屋钢结构的尺寸应符合下列规定

（1）门式刚架的跨度，应取横向刚架柱轴线间的距离。门式刚架的跨度宜为9～36m，以3m为模数，必要时也可采用非模数跨度。当边柱截面高度不等时其外侧应对齐。

（2）门式刚架的高度应根据使用要求的室内净高确定，取地坪至柱轴线与横梁轴线交点的高度。无吊车的房屋门式刚架高度宜取4.5～9m；有吊车的房屋应根据轨顶标高和吊车净空要求确定，一般宜为9～12m。

（3）门式刚架的间距，即柱网轴线在纵向的距离宜为6m，亦可采用7.5m或9m，最大可采用12m；门式刚架跨度较小时也可采用4.5m。

（4）门式刚架的高、宽、长

1）门式刚架轻型房屋的檐口高度，应取地坪至房屋外侧檩条上缘的高度。

2）门式刚架轻型房屋的最大高度，应取地坪至屋盖顶部檩条上缘的高度。

3）门式刚架轻型房屋的宽度，应取房屋侧墙墙梁外皮之间的距离。挑檐长度可根据使用要求确定，宜为0.5～1.2m。

4）门式刚架轻型房屋的长度，应取房屋两端山墙墙梁外皮之间的距离。

（5）门式刚架轻型房屋屋面坡度宜取1/8～1/20，在雨水较多地区可取其中较大值。挑檐的上翼缘坡度宜与横梁坡度相同。

（6）柱的轴线可取通过柱下端（截面小端）截面中心的竖向轴线；工业建筑边柱的定位轴线宜取柱外皮；横梁的轴线可取通过变截面梁段最小端的中心与横梁上表面平行的轴线。

9.2.3　结构平面布置

1. 温度区段长度

温度区段长度可按表2-17设置，当门式刚架轻型房屋的屋面和外墙均采用压型钢板时，其温度区段长度可适当放宽。

2. 当需要设置温度缝（伸缩缝）时，可采用两种作法：

（1）习惯上采用双柱较多。

(2) 在檩条端部的螺栓连接处在纵向采用长圆孔，并使该处屋面板在构造上允许胀缩。吊车梁与柱的连接处也沿纵向采用长圆孔。

3. 刚架的横向定位轴线应加插入距，见图 9-2。图中 a_e 为温度缝或防震缝宽度，按设计取用。

4. 在多跨刚架局部抽掉中柱处，可布置托架梁。

5. 屋面檩条的形式和布置，应考虑天窗、通风口、采光带、屋面材料和檩条供货等因素的影响；屋面压型钢板的板型与檩条间距和屋面荷载有关，一般可按第 6 章选用。

6. 山墙处应由墙梁、抗风柱和横梁（或端刚架）组成山墙墙架。

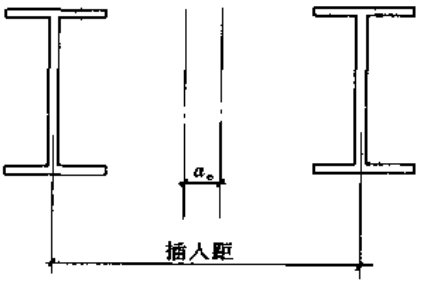


图 9-2 柱的插入距

9.3 内力和侧移计算

9.3.1 变截面

1. 内力

对变截面门式刚架，应采用弹性分析方法确定各种内力。进行内力分析时宜按平面结构考虑，一般不考虑应力蒙皮效应。当有必要且有条件时，可考虑屋面板的蒙皮效应。蒙皮效应是将屋面板视为沿房屋全长伸展的深梁，可用来承受平面内荷载。面板作承受平面内横向剪力的腹板，其边缘构件可视为承受轴向力的翼缘。考虑屋面板的蒙皮效应可提高结构的刚度和承载力，但目前还难以利用，只能当作潜力。

变截面门式刚架的内力分析可按一般结构力学方法或利用静力计算公式、图表进行，也可采用有限元法（直接刚度法）计算。计算时宜将构件分为若干段，每段的几何特征可视为常量，也可采用楔形单元。

如需考虑地震作用效应时，可采用底部剪力法确定。

2. 侧移

(1) 单跨刚架

当单跨变截面刚架横梁上缘坡度不大于 1:5 时，在柱顶水平力作用下的侧移 u，可按下列公式估算：

柱脚铰接刚架

$$u = \frac{Hh^3}{12EI_c}(2 + \xi_t) \tag{9-1}$$

柱脚刚接刚架

$$u = \frac{Hh^3}{12EI_c} \cdot \frac{3 + 2\xi_t}{6 + 2\xi_t} \tag{9-2}$$

其中

$$\xi_t = I_c L / hI_b \tag{9-3}$$

式中 h，L——刚架柱高度和刚架跨度，当坡度大于 1:10 时，L 应取横梁沿坡折线的总长度 $L = 2s$（图 9-3）；

I_c，I_b——柱和横梁的平均惯性矩，见公式 (9-4) 和 (9-5)；

H——刚架柱顶等效水平力，按公式（9-6）～（9-10）计算；

按公式（9-1）、(9-2）计算所得的侧移 u 应满足表 2-12 的要求。

1）变截面柱和横梁的平均惯性矩，可按下列公式计算：

对于楔形构件

$$I_c = (I_{c0} + I_{c1})/2 \tag{9-4}$$

对于双楔形横梁

$$I_b = [I_{b0} + \beta I_{b1} + (1 - \beta) I_{b2}]/2 \tag{9-5}$$

式中符号的含义见图 9-3。

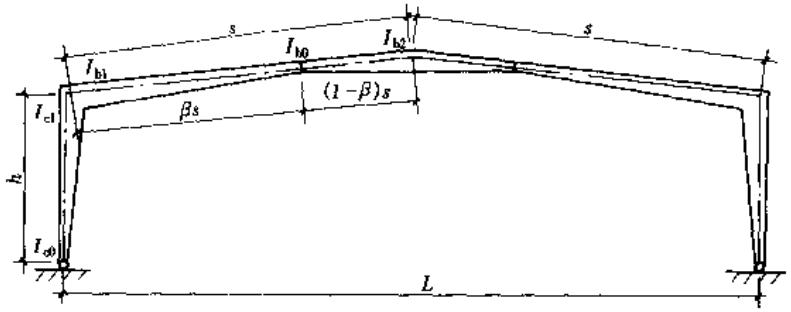


图 9-3　变截面刚架的几何尺寸

2）刚架柱顶等效水平力可按下列公式计算：

当估算刚架在沿柱高度均布的水平风荷载作用下的侧移时（图 9-4），

柱脚铰接刚架　　$H = 0.67W$　　(9-6)

柱脚刚接刚架　　$H = 0.45W$　　(9-7)

其中　　$W = (w_1 + w_4) \cdot h$　　(9-8)

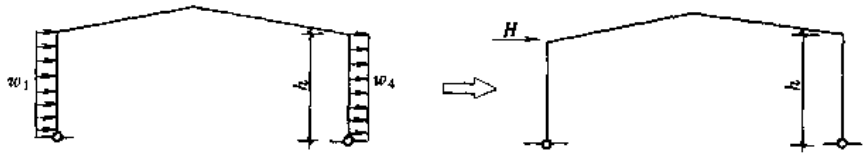


图 9-4　刚架在均布风荷载作用下柱顶的等效水平力

当估算刚架在吊车水平荷载 P_c 作用下的侧移时（图 9-5），

柱脚铰接刚架　　$H = 1.15\eta P_c$　　(9-9)

柱脚刚接刚架　　$H = \eta P_c$　　(9-10)

式中　W——均布风荷载的总值；

η——吊车水平荷载 P_c 作用高度与柱高度之比；

P_c——吊车水平荷载。

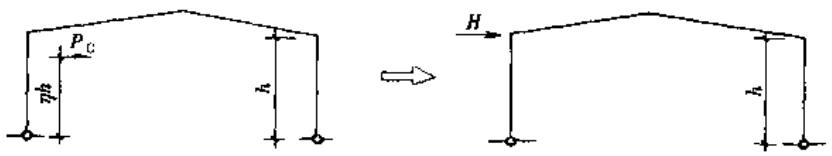


图 9-5　刚架在吊车水平荷载作用下柱顶的等效水平力

w_1、w_4——风荷载的均布值。

（2）两跨刚架

中间柱为摇摆柱的两跨刚架，柱顶侧移可采用公式（9-1）和公式（9-2）计算，但公式（9-3）中的 L 应以 $2s$ 代替，s 为单坡面长度（图 9-6）。

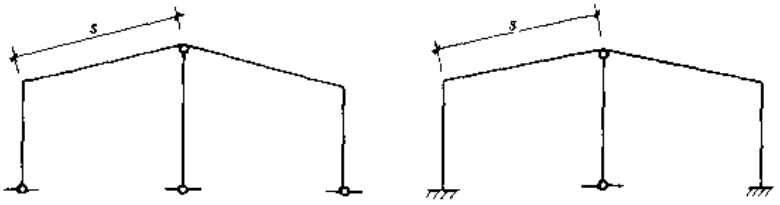


图 9-6 有摇摆柱的两跨刚架

（3）当中间柱与横梁刚性连接时，可将多跨刚架视为多个单跨刚架的组合体（每个中柱分为两半，惯性矩各为 $I/2$），按下列公式计算整个刚架在柱顶水平荷载作用下的侧移：

$$\mu = \frac{H}{\Sigma K_i} \tag{9-11}$$

$$K_i = \frac{12EI_{ei}}{h_i^3(2+\xi_{1i})} \tag{9-12}$$

$$\xi_{1i} = \frac{I_{ei}l_i}{h_i I_{bi}} \tag{9-13}$$

$$I_{ei} = \frac{I_l + I_r}{4} + \frac{I_l \cdot I_r}{I_l + I_r} \tag{9-14}$$

式中 ΣK_i——柱脚铰接时各单跨刚架的侧向刚度之和；

h_i——所计算跨两柱的平均高度；

l_i——与所计算柱相连接的单跨刚架梁的长度；

I_{ei}——两柱惯性矩不相同时的等效惯性矩；

I_l，I_r——左、右两柱的惯性矩（图 9-7）。

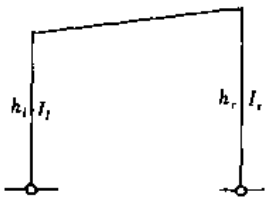


图 9-7 左右两柱的惯性矩

9.3.2 等截面

对等截面门式刚架，采用弹性分析方法确定内力时，可参考上述公式进行：对于不直接承受动力荷载的等截面门式刚架允许采用第 3.4 节塑性设计中考虑构件沿长度方向的截面间的内力重分配。

9.4 构 件 截 面 设 计

9.4.1 变截面

1. 板件最大宽厚比和利用屈曲后的强度

工字形截面（采用三块板焊成）受弯构件中腹板以受剪为主，翼缘以抗弯为主。增大腹板的高度，可使翼缘的抗弯能力发挥更为充分。如在增大腹板高度的同时厚度也相应增大，则腹板耗钢量过多，不经济。因而，不过多增大腹板厚度而充分利用板件屈曲后的强度是比较合理的。

（1）板件最大宽厚比

工字形截面构件受压翼缘自由外伸宽度 b 与其厚度 t 之比，应符合表 3-10 的要求；8 度及以上设防地震区宽厚比限值应符合 13 $\sqrt{235/f_y}$ 的要求；工字形截面梁、柱构件腹板的计算高度 h_0 与其厚度 t_w 之比，任何情况下不应大于 250 $\sqrt{235/f_y}$。

（2）组合梁腹板考虑屈曲后的强度计算及加劲肋设置要求见第 3.1.5 节。

2. 变截面柱在刚架平面内的稳定计算

（1）变截面柱在平面内的稳定应按公式（9-15）计算。

$$\frac{N_0}{\varphi_{xr}A_{e0}}+\frac{\beta_{mx}M_1}{\left(1-\dfrac{N_0}{N'_{EX0}}\varphi_{xr}\right)W_{e1}}\leqslant f \tag{9-15}$$

$$N'_{EX0}=\pi^2EA_{e0}/(1.1\lambda^2) \tag{9-16}$$

式中　N_0——小头的轴向压力设计值；

M_1——大头的弯矩设计值；

A_{e0}——小头的有效截面面积；

W_{e1}——大头的有效面积最大受压纤维截面模量；

φ_{ry}——杆件轴心受压稳定系数，楔形柱根据表 9-1 中规定的计算长度系数按表 14 查得，计算长细比时取小头的回转半径；

β_{mx}——等效弯矩系数，按本节（3）计算；

N'_{EX0}——欧拉临界力，计算 λ 时回转半径 i_0 以小头为准，计算长度系数按下述（2）所述方式确定。

注：当柱的最大弯矩不出现在大头时，M_1 和 W_{e1} 分别取最大弯矩和该弯矩所在截面的有效截面模量。

（2）截面高度呈线性变化的柱，在刚架平面内的计算长度应为 $h_0=\mu_r h$，式中 h 为柱高，μ_r 为计算长度系数，可按以下三种方式之一确定：

1）查表法。用于柱脚铰接的刚架。

A. 柱脚铰接单跨刚架楔形柱的 μ_r，可由表 9-1 查得。

柱脚铰接楔形刚架柱的计算长度系数 μ_r　　表 9-1

K_2/K_1		0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	2.0	≥10.0
$\frac{I_{e0}}{I_{e1}}$	0.01	0.428	0.368	0.349	0.331	0.320	0.318	0.315	0.310
	0.02	0.600	0.502	0.470	0.440	0.428	0.420	0.411	0.404
	0.03	0.729	0.599	0.558	0.520	0.501	0.492	0.483	0.473
	0.05	0.931	0.756	0.694	0.644	0.618	0.606	0.589	0.580
	0.07	1.075	0.873	0.801	0.742	0.711	0.697	0.672	0.650
	0.10	1.252	1.027	0.935	0.857	0.817	0.801	0.790	0.739
	0.15	1.518	1.235	1.109	1.021	0.965	0.938	0.895	0.872
	0.20	1.745	1.395	1.254	1.140	1.080	1.045	1.000	0.969

柱的线刚度 K_1 和梁的线刚度 K_2，应分别按下列公式计算：

$$K_1=I_{e1}/h \tag{9-17}$$

$$K_2 = I_{b0}/(2\psi s) \tag{9-18}$$

式中及表中

I_{c0}，I_{c1}——柱的小头和大头的截面惯性矩；

I_{b0}——梁最小截面惯性矩；

s——半跨横梁长度；

ψ——横梁换算长度系数，由《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS102：2002 附录 D 中曲线查得。当梁为等截面时该系数为 1。

B. 多跨刚架的中间柱为摇摆柱时（图 9-8），摇摆柱的计算长度系数 μ_r 取 1.0，边柱的计算长度见公式（9-19）。

$$h_0 = \eta\mu_r h \tag{9-19}$$

$$\eta = \sqrt{1 + \Sigma\left(\frac{P_{li}}{h_{li}}\right)/\Sigma\left(\frac{P_{fi}}{h_{fi}}\right)} \tag{9-20}$$

式中 μ_r——柱的计算长度系数，由表 9-1 查得，但公式（9-18）中的 s 取与边柱相连的一跨横梁的坡面长度 l_b，如图 9-8 所示；

η——放大系数；

P_{li}——中间柱（即摇摆柱）承受的荷载；

P_{fi}——边柱承受的荷载。

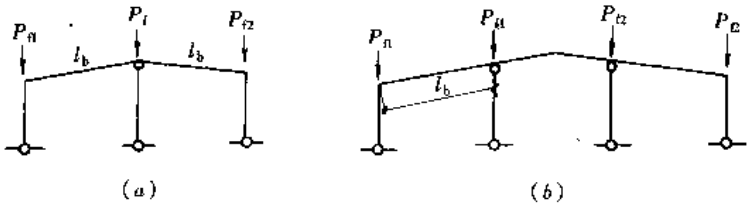


图 9-8 计算边柱时的横梁长度

（a）双跨；（b）三跨

本条中计算长度系数 μ_r 适用于屋面坡度不大于 1:5 的情况，超过此值时应考虑横梁轴向力对柱刚度的不利影响

C. 对于带有毗屋的刚架，可近似地将毗屋柱视为摇摆柱，主刚架柱的系数 μ_r 可按表 9-1 查得，并应乘以按公式（9-20）计算的系数 η。计算 η 时，P_{li} 为毗屋柱承受的竖向荷载，P_{fi} 为主刚架柱承受的竖向荷载。

2）一阶分析法

对于单跨对称刚架（图 9-9a），当利用一阶分析计算程序得出柱顶水平荷载作用下的侧移刚度 $K = H/\mu$ 后，柱的计算长度系数可由下列公式计算：

A. 对柱脚为铰接和刚接的单跨对称刚架，可分别按下列公式计算：

当柱脚为铰接时 $$\mu_r = 4.14\sqrt{EI_{c0}/Kh^3} \tag{9-21a}$$

当柱脚为刚接时 $$\mu_r = 5.85\sqrt{EI_{c0}/Kh^3} \tag{9-21b}$$

公式（9-21a）和（9-21b）也可用于图 9-8 所示屋面坡度不大于 1:5 有摇摆柱的多跨对称刚架的边柱，但算得的系数 μ_r 还应乘以放大系数 η'，

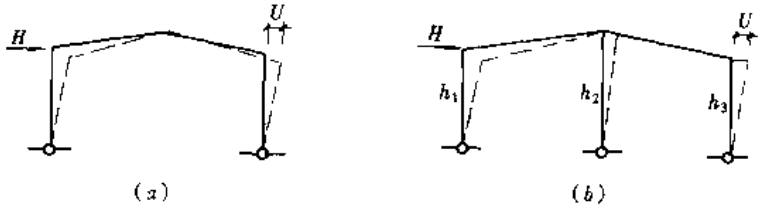


图 9-9　一阶分析时的柱顶位移
(a) 单跨；(b) 多跨

$$\eta' = \sqrt{1 + \Sigma\left(\frac{P_h}{h_{fi}}\right)/1.2\Sigma\left(\frac{P_{fi}}{h_{fi}}\right)}$$

摇摆柱的计算长度系数 μ_r 取 1.0。

B. 对中间为非摇摆柱的多跨刚架（图 9-9b），可分别按下列公式计算

当柱脚为铰接时

$$\mu_r = 0.85\sqrt{\frac{1.2}{K}\frac{P_{EOi}}{P_i}\Sigma\frac{P_i}{h_i}} \tag{9-22a}$$

当柱脚为刚接时

$$\mu_r = 1.2\sqrt{\frac{1.2}{K}\frac{P_{EOi}}{P_i}\Sigma\frac{P_i}{h_i}} \tag{9-22b}$$

$$P_{EOi} = \frac{\pi^2 EI_{Oi}}{h_i^2} \tag{9-23}$$

式中　$h_i \cdot P_i \cdot P_{EOi}$——第 i 根柱的高度、轴压力和以小头为准的欧拉临界力。

C. 公式（9-22a）和（9-22b）也可用于单跨非对称刚架。

3）二阶分析法

当采用计入竖向荷载-侧移效应（即 P-μ 效应）的二阶分析程序计算内力时，计算长度系数 μ_r 可由下列公式计算：

$$\mu_r = 1 - 0.375\gamma + 0.08\gamma^2(1 - 0.0775\gamma) \tag{9-24}$$

$$\gamma = (d_1/d_0) - 1 \tag{9-25}$$

式中　γ——构件的楔率，不大于 $0.268l/d_0$ 及 6.0；

d_0，d_1——分别为柱的小头和大头的截面高度（图 9-10）。

(3) 有侧移框架柱，弯矩作用平面内的等效弯矩系数 β_{mx}

$$\beta_{mx} = 1.0。 \tag{9-26}$$

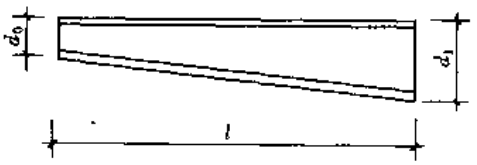


图 9-10　变截面构件的楔率

3. 变截面柱在刚架平面外的稳定计算

(1) 变截面柱在刚架平面外的稳定计算见公式 (9-27) ~公式 (9-29)。

$$\frac{N_0}{\varphi_y A_{e0}} + \frac{\beta_t M_1}{\varphi_{b\gamma} W_{e1}} \leqslant f \tag{9-27}$$

对一端弯矩为零的区段

$$\beta_t = 1 - N/N'_{Ex0} + 0.75(N/N'_{Ex0})^2 \tag{9-28}$$

对两端弯曲应力基本相等的区段

$$\beta_t = 1.0 \tag{9-29}$$

式中 N_0——所计算构件小头的轴向压力设计值；

N'_{EOx}——在刚架平面内以小头为准柱的欧拉临界力；

M_1——所计算构件大头截面的弯矩值；

A_{e0}——小头的有效截面面积；

W_{e1}——大头有效面积最大受压纤维截面模量；

φ_y——轴心受压杆件弯矩作用平面外稳定系数（以小头为准），按表 14-2～14-9 查得，计算长度取纵向支撑点间的距离，若各段线刚度差别较大，确定计算长度时可考虑各段间的相互约束；

β_t——等效弯矩系数；

$\varphi_{b\gamma}$——均匀弯曲楔形受弯构件的整体稳定系数，双轴对称的工字形截面杆件按公式（9-30a）计算。

（2）均匀弯曲楔形受弯构件的整体稳定系数 $\varphi_{b\gamma}$，对双轴对称的工字形截面杆件，应按下述公式计算：

$$\varphi_{b\gamma} = \frac{4320}{\lambda_{y0}^2}\frac{A_0 h_0}{W_{x0}}\sqrt{\left(\frac{\mu_s}{\mu_w}\right)^4 + \left(\frac{\lambda_{y0} t_0}{4.4 h_0}\right)^2}\left(\frac{235}{f_y}\right) \tag{9-30a}$$

$$\lambda_{y0} = \mu_s l / i_{y0} \tag{9-30b}$$

$$\mu_s = 1 + 0.023\gamma\sqrt{l h_0 / A_f} \tag{9-30c}$$

$$\mu_w = 1 + 0.00385\gamma\sqrt{l / i_{y0}} \tag{9-30d}$$

式中 A_0、h_0、W_{x0}、t_0——构件小头的截面面积、截面高度、截面模量、受压翼缘高度；

A_f——受压翼缘截面面积；

i_{y0}——受压翼缘与受压区腹板 1/3 高度组成的截面绕 y 轴的回转半径。

当两翼缘截面不相等时，在公式（9-30a）中应按照表 3-4、公式（3-8）考虑截面不对称影响系数 η_b 项。当按公式（9-30a）算得的 $\varphi_{b\gamma}$值大于 0.6 时，应按公式（3-10）或表 3-7 查出相应的 φ'_b 代替 $\varphi_{b\gamma}$值。

4. 变截面柱柱端受剪承载力验算

变截面柱下端铰接时，应验算柱端的受剪承载力。当不满足要求时，应对该处腹板进行加强。

5. 横梁和隅撑设计

（1）横梁设计

1）实腹式横梁在平面内和平面外均应按压弯构件计算强度和稳定。

2）实腹式刚架横梁的平面外计算长度，应取侧向支承点间的距高；当横梁两翼缘侧向支承点间的距离不等时，应取最大受压翼缘侧向支承点间的距离。

3）当实腹式刚架横梁的下翼缘受压时，必须在受压翼缘的两侧布置隅撑（端部仅布置在一侧）作为横梁的侧向支承；隅撑的另一端连接在檩条上或焊接于发泡水泥轻质大型屋面板的边框上，见图 9-11。

4）当横梁上翼缘承受集中荷载处不设横向加劲肋时，除应按表 3-1、公式（3-5）的

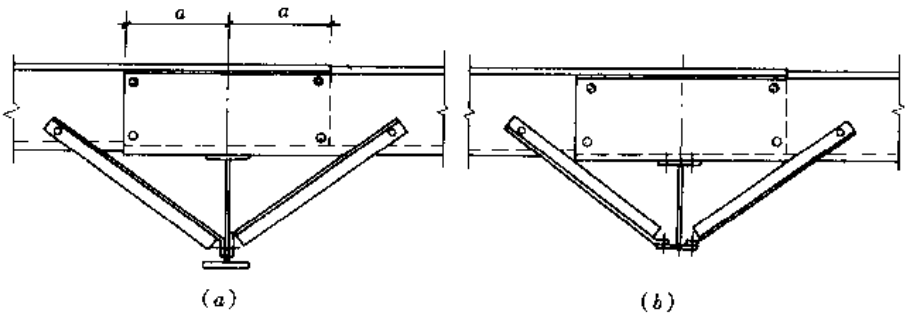


图 9-11　隅撑的连接

规定验算腹板上边缘正应力、剪应力和局部压应力共同作用时的折算应力外，尚应满足下列要求：

$$F \leqslant 15 t_w^2 \alpha_m f \sqrt{\frac{t_f}{t_w}\frac{235}{f_y}} \tag{9-31}$$

$$\alpha_m = 1.5 - M/(W_e f) \tag{9-32}$$

式中　F——上翼缘所受的集中荷载；

t_f，t_w——横梁翼缘和腹板的厚度；

α_m——参数，$\alpha_m \leqslant 1.0$，在横梁负弯矩区取零；

M——集中荷载作用处的弯矩；

W_e——有效截面最大受压纤维的截面模量。

5）横梁不需计算整体稳定的侧向支承点间最大长度，可取横梁上下翼缘宽度的 $16\sqrt{235/f_y}$ 倍。

（2）隅撑设计（图 9-11）

1）隅撑应按轴心受压构件设计，轴压力按下列公式计算

$$N = \frac{Af}{60\cos\theta}\sqrt{\frac{f_y}{235}} \tag{9-33}$$

式中　A——实腹式横梁被支承翼缘的截面面积；

f——实腹式横梁钢材的强度设计值；

f_y——实腹式横梁钢材的屈服强度；

θ——隅撑与檩条轴线间的夹角。

当隅撑成对布置时，每根隅撑的计算轴压力取按公式（9-33）计算所得值的一半。

2）隅撑宜采用单角钢制作。隅撑可连接在刚架构件下（内）翼缘附近的腹板上（图 9-9a），也可连接在下（内）翼缘上（图 9-9b）。通常采用单个螺栓连接，计算时应考虑第 2 章表 2-9 中的折减系数 α_y。

9.4.2　等截面

等截面刚架按弹性设计时，可按上述变截面刚架的规定进行设计。

构件截面可采用三块板焊成的工字形截面、高频焊接轻型 H 型钢及热轧 H 型钢。

等截面刚架按塑性设计时，其构件按第 3.4 节的规定进行设计。

9.5 节 点 设 计

9.5.1 横梁和柱连接及横梁拼接

门式刚架横梁与柱的连接，可采用端板竖放（图 9-12*a*）、端板平放（图 9-12*b*）和端板斜放（9-12*c*）三种形式。当采用外天沟时，可将柱顶板做成倾斜的如图中的虚线所示。横梁拼接时宜使端板与构件外缘垂直（图 9-12*d*）。端板及其连接节点应符合下列规定：

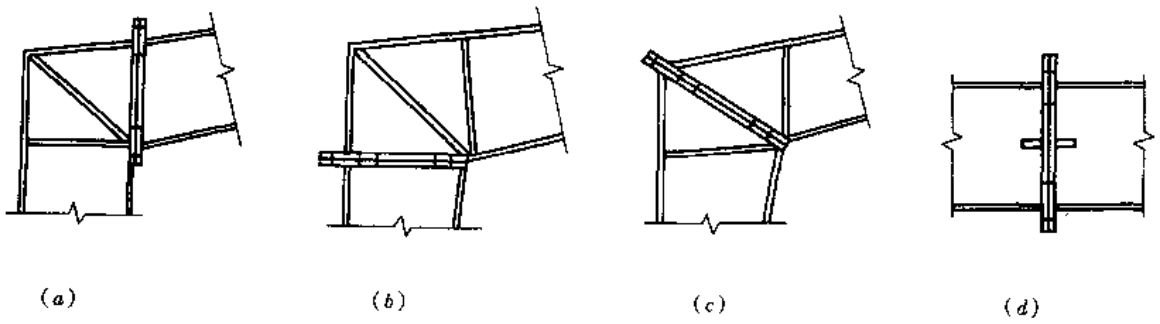


图 9-12 刚架横梁与柱的连接及横梁间的拼接

（*a*）端板竖放；（*b*）端板平放；（*c*）端板斜放；（*d*）横梁拼接

1. 端板连接（图 9-12*d*）应按所受最大内力设计。当内力较小时，应按能够承受不小于较小被连接截面承载力的一半设计。

2. 主刚架构件的连接宜采用高强度螺栓，可采用承压型或摩擦型连接。当为端板连接且只受轴向力和弯矩，或剪力小于其实际抗滑移承载力（按抗滑移系数为 0.3 计算）时，宜采用高强度承压型螺栓连接。吊车梁与制动梁的连接可采用高强度摩擦型螺栓连接或焊接。高强度螺栓直径可根据需要选用，通常采用 M16～M24 螺栓。檩条和墙梁与刚架横梁和柱的连接通常采用 M12 螺栓。

3. 端板连接螺栓应成对对称布置。在受拉翼缘和受压翼缘的内外两侧均应设置，并宜使每个翼缘的螺栓群中心与翼缘的中心重合或接近。为此，应采用将端板伸出截面高度范围以外的外伸式连接。当螺栓群间的力臂足够大（例如在端板斜置时）或受力较小时（例如某些横梁拼接），也可采用将螺栓全部设在构件截面高度范围内的端板平齐式连接（图 9-12*b*、*c*）。

4. 螺栓中心至翼缘板表面的距离，应满足拧紧螺栓时的施工要求，不宜小于 35mm。螺栓端距不应小于 2 倍的螺栓孔径。

5. 在门式刚架中，受压翼缘的螺栓不宜少于两排。当受拉翼缘两侧各设一排螺栓尚不能满足承载力要求时，可在翼缘内侧增设螺栓（图 9-13），其间距可取 75mm，且不小于 3 倍螺栓孔径。

6. 与横梁端板连接的柱翼缘部分应与墙板等厚度（图 9-13）。当端板上两对螺栓间的最大距离大于 400mm 时，应在端板的中部增设一对螺栓。

7. 同时受拉和受剪的螺栓，应验算螺栓在拉剪共同作用下的强度。

8. 端板的厚度可根据支承条件（图 9-14）按下列公式计算，但不宜小于 16mm。

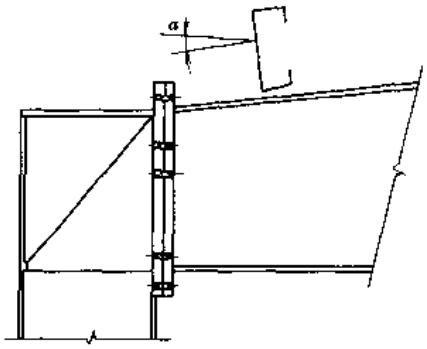
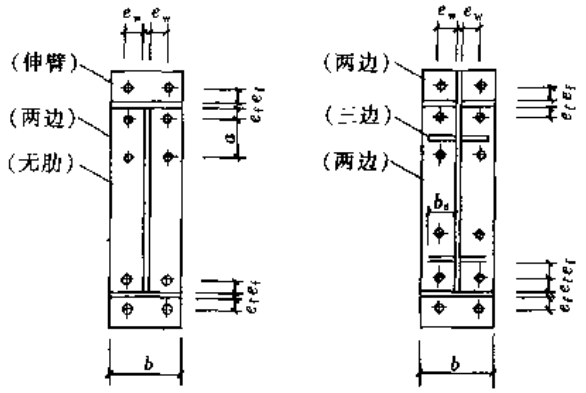


图 9-13　端板竖放时的构造



(符号见公式 9-34～9-37 的说明)

图 9-14　端板支承构造

(1) 伸臂类端板

$$t \geqslant \sqrt{\frac{6e_f N_t}{bf}} \tag{9-34}$$

(2) 无加劲肋端板

$$t \geqslant \sqrt{\frac{3e_w N_t}{(0.5a + e_w)f}} \tag{9-35}$$

(3) 两边支承类端板

当端板外伸时

$$t \geqslant \sqrt{\frac{6e_f e_w N_t}{[e_w b + 2e_f(e_f + e_w)]f}} \tag{9-36a}$$

当端板平齐时

$$t \geqslant \sqrt{\frac{12e_f e_w N_t}{[e_w b + 4e_f(e_f + e_w)]f}} \tag{9-36b}$$

(4) 三边支承类端板

$$t \geqslant \sqrt{\frac{6e_f e_w N_t}{[e_w(b + 2b_s) + 4e_f^2]f}} \tag{9-37}$$

式中　N_t——一个高强度螺栓的拉力设计值；

e_w、e_f——螺栓中心至腹板和翼缘板表面的距离；

b、b_s——端板和加劲肋板的宽度；

a——螺栓的间距；

f——端板钢材的抗拉强度设计值。

9. 刚架构件的翼缘与端板的连接应采用全熔透对接焊缝，腹板与端板的连接应采用角焊缝，坡口形式应符合现行国家标准《手工电弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》GB 985 的规定。在端板设置螺栓处，应按下列公式验算构件腹板的强度：

当 $N_{t2} \leqslant 0.4P$ 时

$$\frac{0.4P}{e_w t_w} \leqslant f \tag{9-38a}$$

当 $N_{t2} > 0.4P$ 时

$$\frac{N_{t2}}{e_w t_w} \leqslant f \tag{9-38b}$$

式中 N_{t2}——翼缘内第二排一个螺栓的轴心拉力设计值；

e_w——螺栓中心至腹板表面的距离；

t_w——腹板的厚度；

P——高强度螺栓的预拉力；

f——腹板钢材的抗拉强度设计值。

当不满足上述公式的要求时，可设置腹板加劲肋或局部加厚腹板。

9.5.2 梁柱节点域

在门式刚架横梁与柱相交的节点域，应按公式（9-39）验算剪应力：

$$\tau \leqslant f_v \tag{9-39}$$

$$\tau = \frac{\xi M}{d_b d_c t_c} \tag{9-40}$$

式中 M——节点承受的弯矩，对多跨刚架中间柱，应取两侧横梁端弯矩的代数和或柱端弯矩；

d_c、t_c——节点域柱腹板的高度和厚度；

d_b——横梁端部高度或节点域高度；

ξ——剪应力分布不均匀系数，按弹性设计时为 1.0（CECS102—2002），按塑性设计时为 0.75《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）；

f_v——节点域柱腹板钢材的抗剪强度设计值。

9.5.3 刚架柱脚

门式刚架轻型房屋钢结构的柱脚，宜采用平板式铰接柱脚（图 9-15a、b）。当有必要时，也可采用刚性柱脚（图 9-15c、d）。柱脚锚栓不宜用以承受柱脚底部的水平力。此水平力应由底板与混凝土之间的摩擦力（摩擦系数取 0.4）或设置抗剪键来承受。当埋置深度受到限制时，锚栓应牢固地固定在锚板或锚梁上，以传递全部拉力，此时锚栓与混凝土

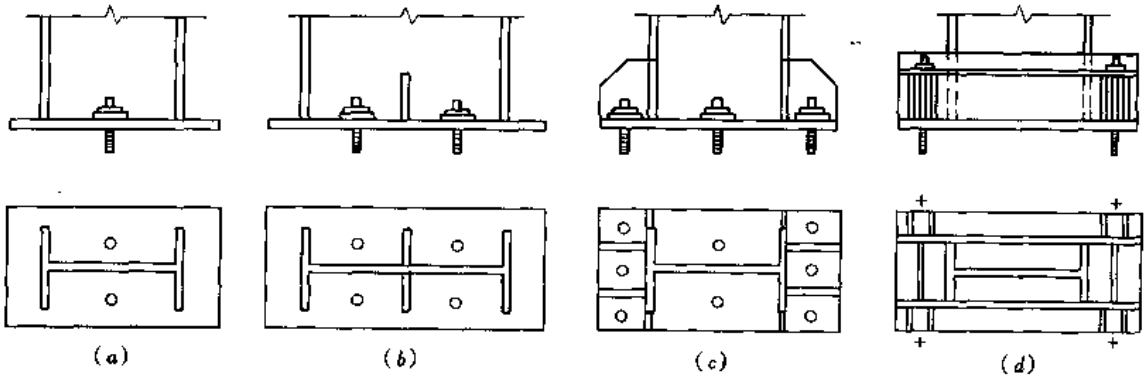


图 9-15 门式刚架柱脚型式

（a）一对锚栓的铰接柱脚；（b）两对锚栓的铰接柱脚；（c）带加劲肋的刚接柱脚；（d）带靴梁的刚接柱脚

间的粘结力不予考虑。

变截面柱下端的宽度应根据具体情况确定，但不宜小于200mm。

近年来将钢柱直接插入混凝土内用二次浇灌层固定的插入式刚接柱脚已经在多项单层工业厂房中应用，效果良好，并不影响安装调整。这种柱脚构造简单、节约钢材且安全可靠，可用于大跨度、有吊车的厂房中。

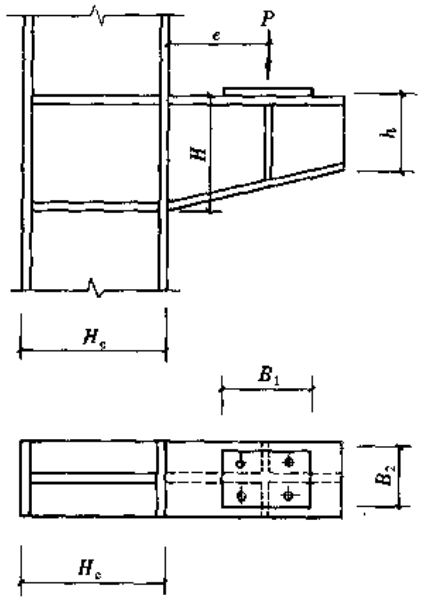


图9-16　牛腿的构造节点

9.5.4　牛腿

1. 牛腿的构造

牛腿的构造要求见图9-16。柱为焊接工字形截面。牛腿板件尺寸与柱截面尺寸相协调，牛腿各部分焊缝由计算确定。

2. 牛腿的计算

根据图9-16，作用于牛腿根部的剪力 V，弯矩 M 为：

$$V = P = 1.2P_D + 1.4D_{max} \qquad (9\text{-}41a)$$

$$M = V \cdot e \qquad (9\text{-}41b)$$

式中　P_D——吊车梁及轨道重；

D_{max}——吊车最大轮压通过吊车梁传递给一根柱的最大反力。

牛腿与柱连接焊缝的构造与计算：

牛腿上翼缘与柱的连接宜采用焊透的V形对接焊缝，下翼缘和腹板与柱的连接也可采用角焊缝。

牛腿腹板与柱的连接角焊缝焊脚尺寸由剪力 V 确定。

牛腿下翼缘与柱的连接角焊缝焊脚尺寸由牛腿翼缘传来的水平力 $F = M/H$ 确定。

9.6　刚架设计实例

9.6.1　说明

1. 本节列出常用的门式刚架结构形式，在不同节点连接方式和不同荷载作用下的结构设计实例，供设计参考。

2. 屋面类型分有檩屋面和无檩屋面。

(1) 有檩屋面

由双层压型钢板（上层压型，下层带小肋）中间夹保温层组成的夹芯板屋面，沿板的纵向由钢檩条支承。

(2) 无檩屋面

发泡水泥复合大型屋面板（1.5m×6.0m），不设檩条，板直接搁置于刚架横梁上。

3. 本设计实例适用于设防烈度为8度及以下的地区，8度时设计基本地震加速度值为0.2g可不进行抗震强度验算。

4. 屋面均布活荷载标准值：对于压型钢板屋面一般可取0.3kN/m^2（受荷水平投影面

积超过 60m²）；对于发泡水泥复合大型屋面板取 0.5kN/m²。

5. 风压高度变化系数 μ_z 按《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）地面粗糙度类别 B 确定。体型系数 μ_s 按 CECS102:2002 取值（比按 GB 50009—2001 弯矩偏小较多）。

6. 刚架跨度为房屋横向相邻柱脚截面外边的距离，柱高为基础顶面（柱脚支座板底）至轴线与横梁顶面相交处高度。刚架柱距均为 6m（房屋两端为 5.4m）。

7. 刚架构件计算长度 l_0，横梁：平面内 $l_{0x} = l$（跨度）；

平面外 $l_{0y} = 3\text{m}$；

柱：平面内 $l_{0x} = \mu_1 \cdot H$；

平面外，$l_{0y} = 3\text{m}$。

为此，除在屋脊和柱顶必须设置隅撑外，其余可每隔一根檩条（或发泡水泥复合大型屋面板边肋）、墙梁设置隅撑，间隔不大于 3m。

8. 杆件及连接

杆件及节点采用 Q235 钢或 Q345 钢。钢材和角焊缝的强度设计值 Q235 钢，$f = 215\text{N/mm}^2$；Q345 钢，$f = 315\text{N/m}^2$；Q235 钢采用 E43 型焊条的手工焊，$f_y^w = 160\text{N/mm}^2$；Q345 钢采用 E50 型焊条的手工焊，$f_y^w = 200\text{N/mm}^2$。

9. 刚架的横梁及柱均采用三块板焊成的工字形截面，为便于制作图中优先选用了高频焊接轻型 H 型钢规格，除此外，未注明的角焊缝焊脚尺寸均为 5mm 满焊，对接焊缝采用带坡口的等强焊接。

10. 刚架节点详图中的螺栓孔仅注明其沿节点板长度方向按受力计算的孔距，另一宽度方向按构造要求，为两排孔，孔中心距为 80mm，孔边距相等且不小于 $1.5d$（d 为孔径）。

11. 刚架横梁间及横梁与柱的连接螺栓均采用摩擦型高强度螺栓，构件接触面采用喷砂，每个高强度螺栓的预拉力 P（kN）按表 4-12 中 10.9 级选用。

12. 刚架柱脚与基础连接的预埋锚栓采用 Q235 钢，柱间支撑开间内基础顶面抗剪键（角钢或槽钢）的构造见图 9-17。

13. 设计软件采用创迪软件公司（3D3S）。

9.6.2 设计实例

1. 实例目次

实例共 2 个，目次见表 9-2。

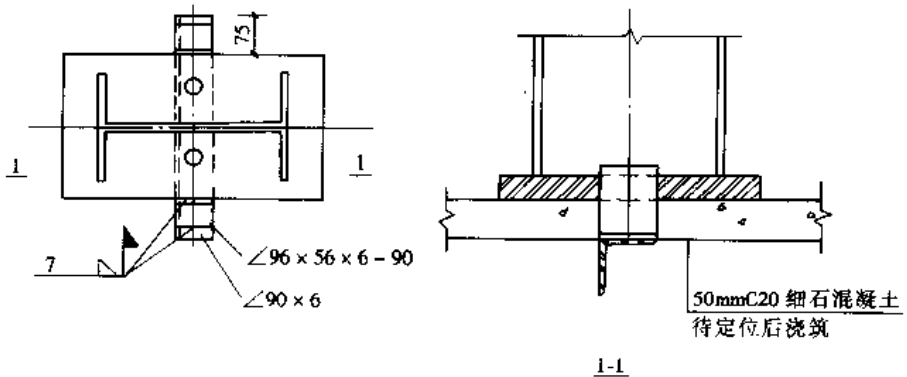


图 9-17 基础顶面抗剪键构造

实 例 目 次 表　　表 9-2

序号	编号	屋面类型	刚架形式	几何尺寸 $L \times H$（m）	坡度	外荷载标准值 恒载/活载/风载（kN/m^2）	钢材牌号 用钢量（kg/m^2）	所在页次
1	GJ-1	压型钢板	单跨双坡	12×5	1:10	0.5/0.3/0.5	Q235 10.4	
2	GJ-2	发泡水泥复合大型屋面板	双跨双坡（单梁式吊车）	2-15×8.725	1:20	0.8/0.5/0.4	Q235 23.5	

注：1. 本实例中门式刚架的跨度 L 取横向框架柱轴线间的距离；门式刚架的高度，应取地坪至柱轴线与横梁上边缘交点的高度。

2. 表中荷载未包括刚架及支撑重量，刚架及支撑重在分析内力及截面选用时已考虑。

2. 实例

【例题 9-1】　单跨双坡门式刚架（CJ-1）

1. 设计资料

单层房屋采用单跨双坡门式刚架，刚架跨度 12m，柱高 5m，共有 12 榀刚架柱距 6m，屋面坡度 1/10，地震设防烈度为 6 度，刚架平面布置见图 9-18，刚架形式及几何尺寸见图 9-19。屋面及墙面板为夹芯板；檩条墙梁为薄壁卷边 C 型钢，间距为 1.5m，钢材采用 Q235 钢，焊条 E43 型。

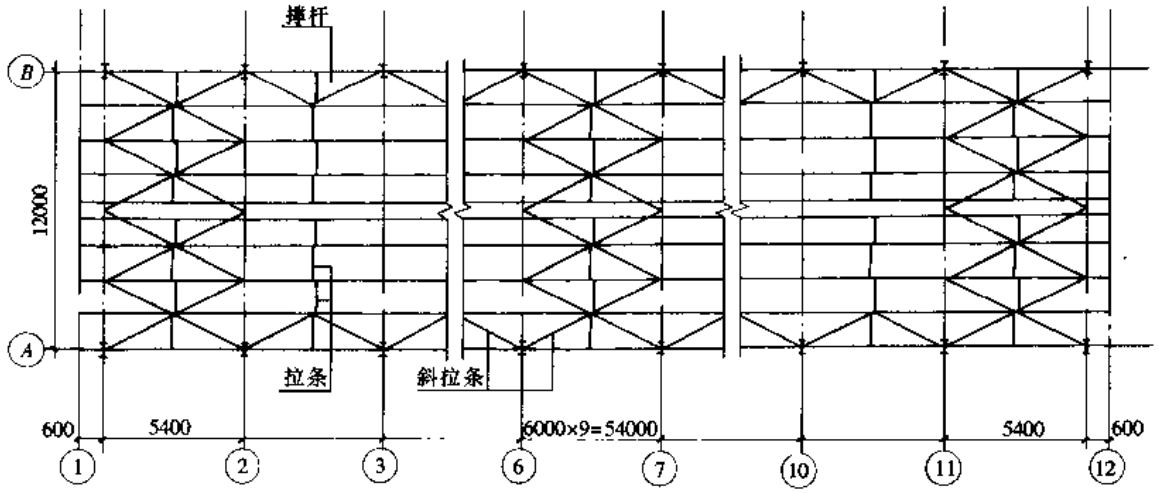


图 9-18　刚架平面布置图

2. 荷载

（1）永久荷载标准值（对水平投影面）

岩棉夹芯彩色钢板	$0.25kN/m^2$
檩条	$0.05kN/m^2$
悬挂设备	$0.20kN/m^2$
	$0.5kN/m^2$

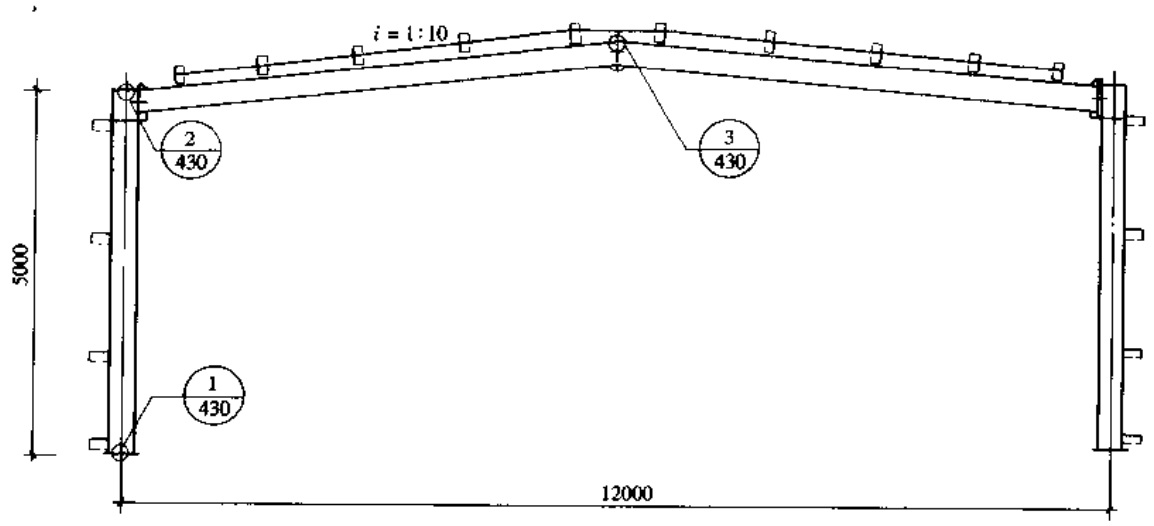


图 9-19 刚架型式和几何尺寸

(2) 可变荷载标准值

屋面活荷载与雪荷载中较大值 0.3kN/m²。

(3) 风荷载标准值

基本风压值 0.5kN/m²；地面粗糙度系数按 B 类取；风荷载高度变化系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001 的规定采用，当高度小于 10m 时，按 10m 高度处的数值采用，$\mu_z = 1.0$。风荷载体型系数 μ_s 迎风面柱及屋面分别为 + 0.25 和 - 1.0；背风面柱及屋面分别为 - 0.55 和 - 0.65（CECS102:2002 中间区）。

3. 屋面构件

(1) 夹芯板

根据表 6-2 提供的夹芯板型号可采用 JXB42-333-1000，芯板面板厚度为 0.50mm，板厚为 80mm。

(2) 檩条

根据檩条截面选用表 7-3，檩条可以采用 CL6-2（冷弯薄壁卷边槽钢 180 × 70 × 20 × 3.0），跨中设拉条一道。檩条施工详图见图 7-36。檩托布置见图 9-20。

4. 屋面支撑

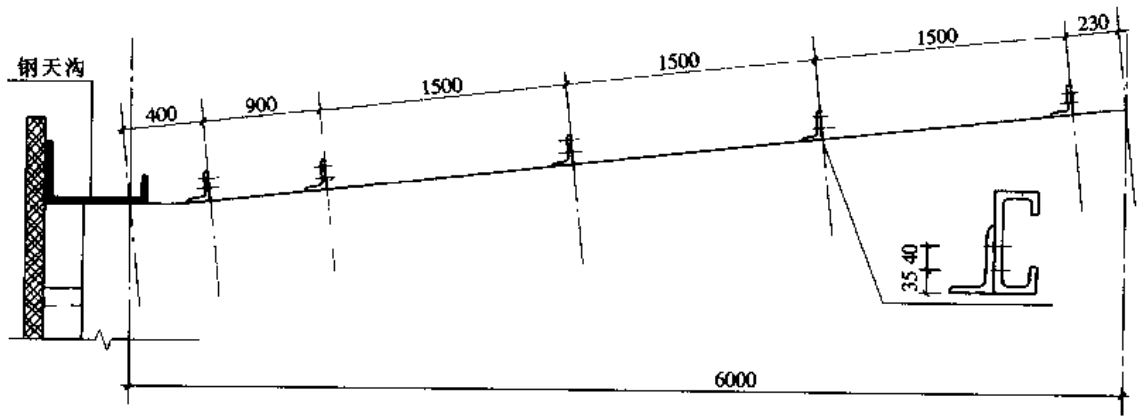


图 9-20 檩托布置详图

（1）屋面支撑布置

檩条间距1.5m，水平支撑节距3m，见图9-18。

（2）屋面支撑荷载及内力

屋面支撑斜杆采用张紧的圆钢。支撑计算简图见图9-21（a）。一侧山墙支撑取$\mu_s=1$。

节点荷载标准值 $F_{wk}=0.5\times1.0\times1.0\times3.0\times(5+0.3+0.6)/2=4.43\text{kN}$；

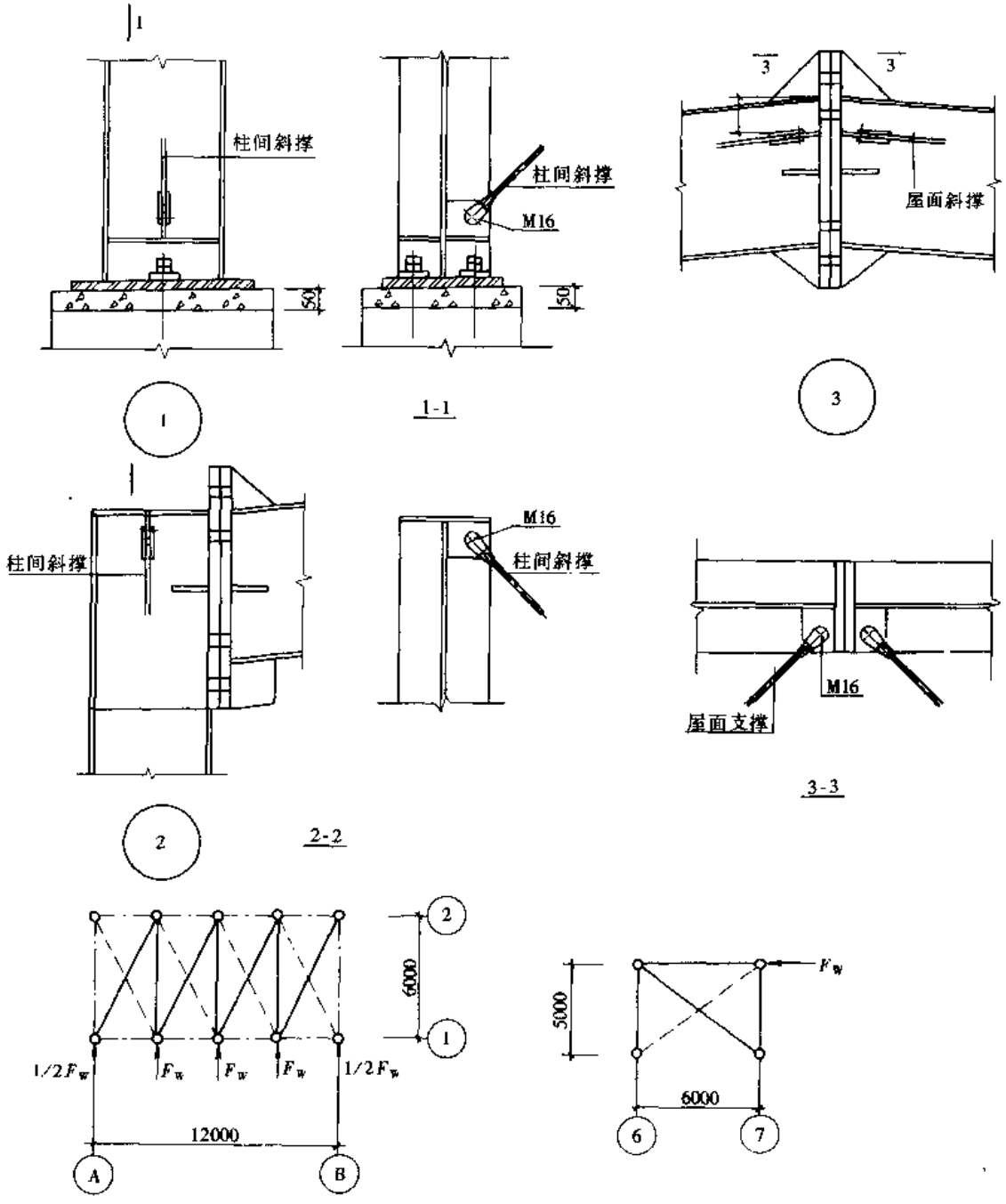


图9-21　支撑计算简图

（a）屋面支撑布置简图；（b）垂直支撑布置简图

节点荷载设计值 $F_w = 4.43 \times 1.4 = 6.20\text{kN}$；

斜杆拉力设计值 $N = 1.5 \times 6.20/\cos 26.6° = 10.4\text{kN}$；

(3) 斜杆

斜杆选用 $\phi 12$ 的圆钢，截面面积 $A = 113.0\text{mm}^2$。

强度校核：$N/A = 10400/113 = 92\text{N/mm}^2 < f$。

刚度校核：张紧的圆钢不需要考虑长细比的要求，但从构造上考虑采用 $\phi 16$ 为宜。

5. 柱间支撑直杆用檩条兼用，因檩条留有一定的应力裕量，可不再验算。

(1) 柱间支撑布置

柱间支撑布置图见图 9-22。

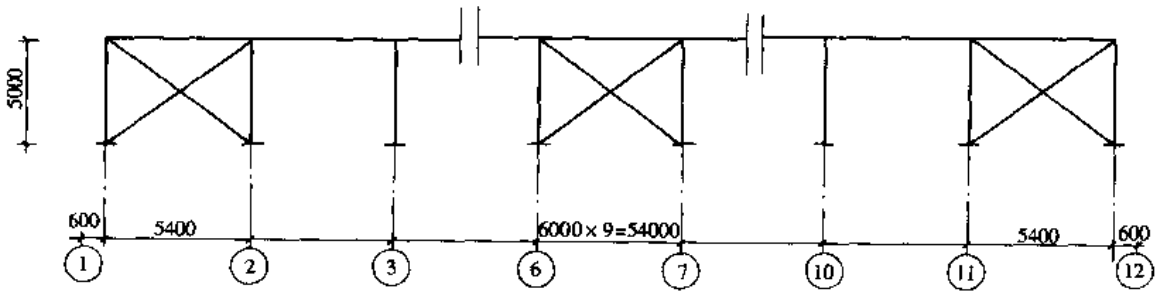


图 9-22 柱间支撑布置

(2) 柱间支撑荷载及内力

柱间支撑为斜杆，采用张紧的圆钢。支撑计算简图见图 9-21 (b)。

作用于两侧山墙顶部节点的风荷载为（山墙高度取 5.9m)：

取 $\mu_s = 0.8 + 0.5 = 1.3$；

$$w_1 = 1.3 \times 1.0 \times 0.5 \times 12 \times 5.9/2 = 23.0\text{kN}$$

按一半山墙面作用风载的 1/3 考虑节点荷载标准值为：

$$F_{wk} = 1/3 \times 1/2 \times 23.0 = 3.84\text{kN}$$

节点荷载设计值 $F_w = 3.84 \times 1.4 = 5.37\text{kN}$；

斜杆反力设计值 $N = 5.37/\cos 40° = 7.01\text{kN}$；

(3) 斜杆校核

斜杆选用 $\phi 12$ 的圆钢，截面面积 $A = 113.0\text{mm}^2$

强度校核：$N/A = 7010/113 = 62.0\text{N/mm}^2 < f$

刚度校核：张紧的圆钢不需要考虑长细比的要求，但从构造考虑采用 $\phi 16$ 为宜。

6. 墙架设计

根据墙梁截面选用表 11-1，墙梁间距 1500，可以采用 CQL6.0-1.5-1（冷弯薄壁卷边槽钢 C160×60×20×2.0)。

在山墙上设置两根抗风柱，根据墙架柱截面选用表 11-2，墙架柱可以采用 H 型钢 200×100×3.2×4.5，高度为 5.3m。墙架的连接节点见图 11-43，墙架的布置见图 11-5，11-42。

7. 杆件内力

杆件内力设计值见图 9-23 (a) ~ (c)。

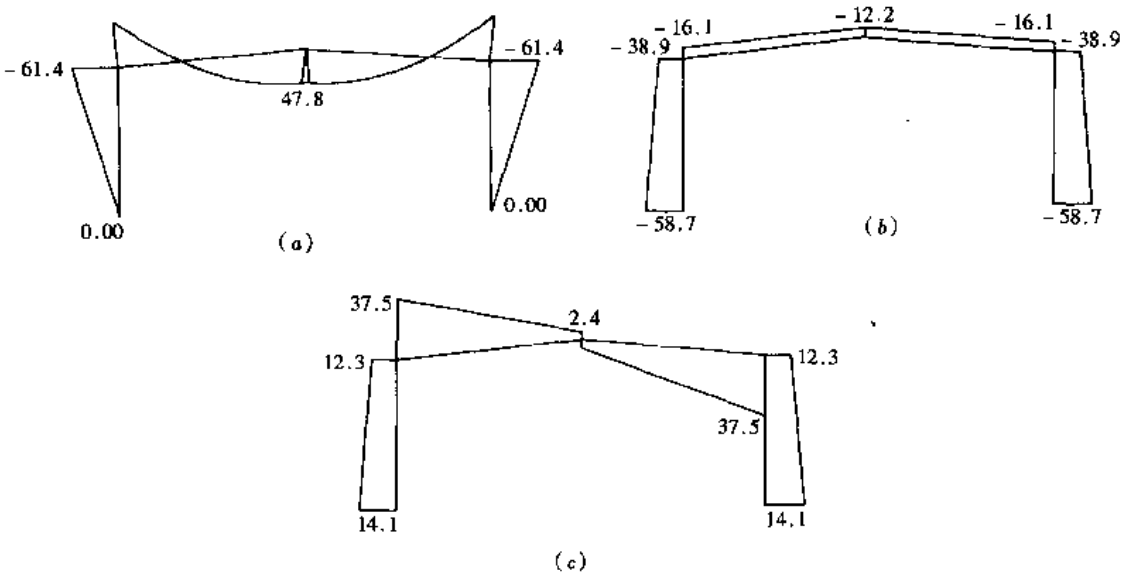


图 9-23　GJ-1 组合内力图

(a) 组合弯矩图 M (kN·m)；(b) 组合轴力图 N (kN)；(c) 组合剪力图 V (kN)

8. 杆件优化计算和节点设计

表 9-3 给出程序对各杆件单元的优化设计结果；

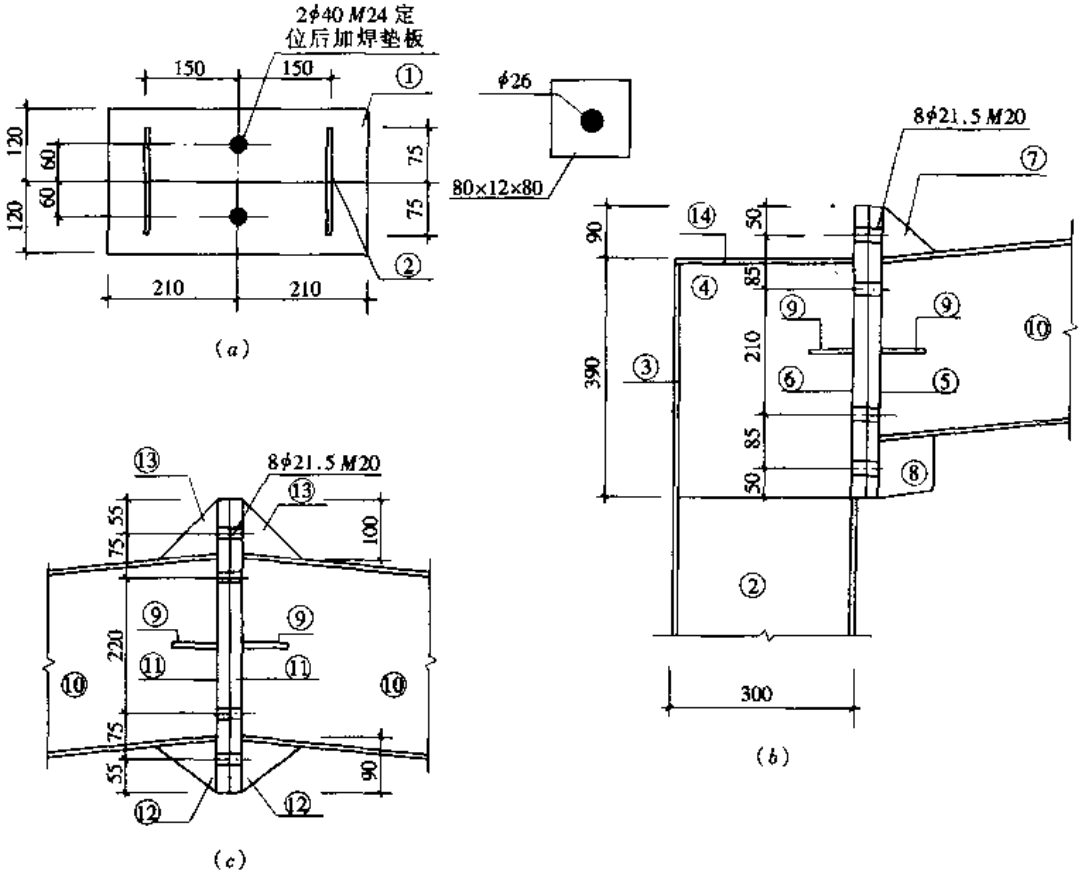


图 9-24　刚架连接节点详图

(a) 柱脚铰接连接节点；(b) 梁柱拼接节点；(c) 横梁屋脊拼接节点

（1）单元杆件的序号为程序截面库中的序号；

（2）杆件应力比为计算应力与钢材强度设计值的比值；

（3）在工字形截面进行稳定计算和长细比验算时，2 轴为习惯上的弱轴（平面外），3 轴为习惯上的强轴（平面内）。

表 9-4 列出了杆件材料表。图 9-24（a）～（c）为节点详图。

CJ-1 杆件单元优化计算结果 表 9-3

优化计算项目	
强度应力比；整体稳定应力比；抗剪应力比	
长细比满足要求标识值；绕 2 轴长细比；绕 3 轴长细比	
局部稳定验算结果	
优化结果	
下限：0　上限：1	
单元 1（表号 17，验算前序号 25，验算后序号 25）　OK	
强度应力比：	0.659
绕 2 轴整体稳定应力比：	0.733
绕 3 轴整体稳定应力比：	0.749
沿 2 轴抗剪应力比：	0.101
沿 3 轴抗剪应力比：	0
长细比满足要求	
绕 2 轴长细比：	68.2
绕 3 轴长细比：	106
局部稳定验算结果：翼缘宽厚比满足要求，腹板高度全部有效	
单元 2（表号 17，验算前序号 71，验算后序号 71）　OK	
强度应力比：	0.715
绕 2 轴整体稳定应力比：	0.833
绕 3 轴整体稳定应力比：	0.737
沿 2 轴抗剪应力比：	0.25
沿 3 轴抗剪应力比：	0
长细比满足要求	
绕 2 轴长细比：	84.1
绕 3 轴长细比：	93.1
局部稳定验算结果：翼缘宽厚比满足要求，腹板高度全部有效	
单元 3（表号 17，验算前序号 71，验算后序号 71）　OK	
强度应力比：	0.715
绕 2 轴整体稳定应力比：	0.833
绕 3 轴整体稳定应力比：	0.737
沿 2 轴抗剪应力比：	0.25
沿 3 轴抗剪应力比：	0
长细比满足要求	
绕 2 轴长细比：	84.1
绕 3 轴长细比：	93.1
局部稳定验算结果：翼缘宽厚比满足要求，腹板高度全部有效	

续表

优化计算项目	
单元4（表号17，验算前序号25，验算后序号25）　OK	
强度应力比：	0.659
绕2轴整体稳定应力比：	0.508
绕3轴整体稳定应力比：	0.533
沿2轴抗剪应力比：	0.101
沿3轴抗剪应力比：	0
长细比满足要求	
绕2轴长细比：	68.2
绕3轴长细比：	106
局部稳定验算结果，翼缘宽厚比满足要求，腹板高度全部有效	

CJ-1　材　料　表　　表9-4

杆件号	规格（截面）（mm）	长度（mm）	数量	重量（kg）		备注
				单　个	合　计	
1	-240×20	420	2	15.8	31.7	
2	H型钢柱 300×150×4.5×8	4590	2	132.5	265.0	
3	-180×8	380	2	4.5	9.0	
4	-284×6	380	2	5.1	10.2	
5	-150×22	480	2	12.4	24.8	
6	-180×22	480	2	14.8	29.6	
7	-90×10	115	2	0.6	1.2	
8	-100×10	115	2	0.7	1.4	
9	-75×10	105	12	0.5	6.0	
10	H型钢梁 300×150×4.5×8	5853	2	168.1	336.2	
11	-150×20	480	2	11.2	22.4	
12	-90×10	100	2	0.6	1.2	
13	-100×10	100	2	0.7	1.4	
14	-150×10	290	2	3.4	6.8	
总　计					747	

9. 构件验算

（1）构件截面几何参数

梁柱均为高频焊接轻型H型钢（mm）300×150×4.5×8，$I_x = 5976.11\text{cm}^4$；$I_y = 450.22\text{cm}^4$；$W_x = 398.4\text{cm}^3$；$W_y = 60.03\text{cm}^3$；$i_x = 12.75\text{cm}$；$i_y = 3.50\text{cm}$；$A = 36.78\text{cm}^2$。

（2）构件宽厚比的验算

翼缘部分

$$b/t = 72.75/8 = 9.09 < 15;$$

腹板部分

$$h_0/t_w = 284/4.5 = 63.1 < 250。$$

(3) 刚架梁的验算

1) 抗剪验算

梁截面的最大剪力为 $V_{max} = 37.5kN$。

考虑仅有支座加劲肋，按公式 (3-36)

$$\lambda_s = \frac{h_0/t_w}{41\sqrt{5.34}}\sqrt{f_y/235} = 0.67 < 0.8$$

$$f_v = 125N/mm^2$$

$$V_u = h_0 t_w f_v = 159.75kN$$

$$V_{max} = 37.5kN < V_u = 159.75kN \text{ 满足要求}$$

2) 弯、剪、压共同作用下的验算

取梁端截面进行验算

$$N = -16.1kN, V = 37.5kN, M = 61.4kN \cdot m。$$

因为 $V < 0.5V_u$，取 $V = 0.5V_u$，按公式 (3-31) 进行验算，其中

$$M_f = \left(A_{f1}\frac{h_f^2}{h_2} + A_{f2}h_2\right)\left(f - \frac{N}{A}\right) = \left(150 \times 8 \times \frac{146^2}{146} + 150 \times 8 \times 146\right)\left(215 - \frac{16100}{3678}\right)$$

$$\approx 73.8kN \cdot m > M = 61.4kN \cdot m$$

取 $M = M_f$

故 $\left(\frac{V}{0.5V_u} - 1\right)^2 + \frac{M - M_f}{M_{eu} - M_f} = 0 < 1$，满足要求。

3) 整体稳定验算

$N = -16.1kN$，$M = 61.4kN \cdot m$。

A. 横梁平面内的整体稳定性验算

计算长度取横梁长度 $l_x = 12060mm$。

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{12060}{127.5} = 94.6 < [\lambda] = 150$$

b 类截面，查得 $\varphi_x = 0.59$

$$N'_{Ex0} = \frac{\pi^2 EA_1}{1.1\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 3678}{1.1 \times 94.6^2} = 760kN, \beta_{mx} = 1。$$

$$\frac{N}{\varphi_x A_{e0}} + \frac{\beta_{mx}M}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ex0}}\varphi_x\right)W_{e1}} = \frac{16100}{0.59 \times 3678} + \frac{1 \times 61.4 \times 10^6}{\left(1 - \frac{16.1}{760} \times 0.59\right) \times 398.4 \times 10^3}$$

$$= 163.1N/mm^2 < f。\text{满足要求。}$$

B. 横梁平面外的整体稳定验算

考虑屋面压型钢板与檩条紧密连接，有蒙皮作用，檩条可作为横梁平面外的支承点，但为了安全起见计算长度按两个檩条或隅撑间距考虑，即 $l_y = 3016mm$。

对于等截面构件 $\gamma = 0$，按公式 (9-30c)、公式 (9-30d)

$$\mu_s = \mu_w = 1.0$$

$$\lambda_y = 3160/35 = 90.2$$

根据试验，轻型H型钢可按b类截面，查得 $\varphi_y = 0.62$。

按公式（9-30）计算，

$$\varphi_{by} = 1.67 > 0.6$$

取 $\varphi'_b = 0.90$

按公式（9-28）

$$\beta_t = 1.0 - \frac{N}{N'_{Ex0}} + 0.75\left(\frac{N}{N_{Ex0}}\right)^2 \approx 1.0$$

$$\frac{N}{\varphi_x A_{e0}} + \frac{\beta_t M}{\varphi_b W_{e1}} = \frac{16100}{0.62 \times 3678} + \frac{1 \times 61.4 \times 10^6}{0.9 \times 398.4 \times 10^3}$$

$$= 7.04 + 171.2 = 178.2\text{N/mm}^2 < f \text{ 满足要求。}$$

（4）刚架柱的验算

1）抗剪验算

柱截面的最大剪力为 $V_{max} = 14.1\text{kN}$

考虑仅有支座加劲肋，按公式（3-31）～（3-36）

$$\lambda_w = \frac{h_0/t_w}{41\sqrt{5.34}}\sqrt{f_y/235} = 0.67 < 0.8$$

$$f_v = 125\text{N/mm}^2$$

$$V_S = h_0 t_w f_v = 284 \times 4.5 \times 125 = 159.75\text{kN}$$

$V_{max} < V_S$，满足要求。

2）弯、剪、压共同作用下的验算

取柱上端截面进行验算

$N = -38.9\text{kN}$，$V = 12.3\text{kN}$，$M = 61.4\text{kN·m}$。

因为 $V < 0.5V_S$，取 $V = 0.5V_S$，

梁的 $M_f = 73.6\text{kN·m} > M = 61.4\text{kN·m}$，取 $M = M_f$，

按以上梁的计算公式（3-31）能满足要求。

3）整体稳定性验算

构件的最大内力 $N = -58.7\text{kN}$，$M = 61.4\text{kN·m}$。

A. 刚架柱平面内的整体稳定性验算

刚架柱高 $H = 5000\text{mm}$，梁长 $L = 12060\text{mm}$。按公式（9-17）、（9-18）计算得梁柱线刚度比 $k_2/k_1 = 0.415$。

由于柱为等截面，根据表25-2

柱的计算长度系数 $\mu = 2.76$。

刚架柱的计算长度为13800mm。

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{13800}{127.5} = 108.2 < [\lambda] = 150$$

b类截面，查得 $\varphi_x = 0.503$

$$N_{E1} = \frac{\pi^2 EA_1}{1.1\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 3678}{1.1 \times 108.2^2} = 581\text{kN}, \beta_{mx} = 1。$$

$$\frac{N}{\varphi_x A_{e0}} + \frac{\beta_{mx} M}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ex0}}\varphi_x\right) W_{e1}} = \frac{58.7 \times 10^3}{0.503 \times 3678} + \frac{1 \times 61.4 \times 10^6}{\left(1 - \frac{58.7}{581} \times 0.503\right) \times 398.4 \times 10^3}$$

$$= 31.7 + 162 = 193.7\text{N/mm}^2 < f$$。满足要求

B. 刚架柱平面外的整体稳定性验算

考虑压型钢板墙面与墙梁紧密连接，起到应力蒙皮作用，与柱连接的墙梁可作为柱平面外的支承点，但为了安全起见计算长度按两个墙梁或隅撑间距考虑，即 $l_y = 3000\text{mm}$。

对于等截面构件 $\lambda = 0$，按公式（9-30c）及（9-30d）

$$\mu_s = \mu_w = 1.0$$

$$\lambda_y = 3000/35 = 85.7$$

b 类截面，查得 $\varphi_y = 0.650$

按公式（9-30）计算 $\varphi_{by} = 1.67 > 0.6$

取 $\varphi'_b = 0.90$

$$\beta_t = 1.0 - \frac{N}{N'_{Ex0}} + 0.75\left(\frac{N}{N'_{Ex0}}\right)^2 \approx 1.0$$

$$\frac{N}{\varphi_x A_{e0}} + \frac{\beta_t M}{\varphi'_b W_{e1}} = \frac{58.7 \times 10^3}{0.65 \times 3678} + \frac{1 \times 61.4 \times 10^6}{0.9 \times 398.4 \times 10^3}$$

$$= 24.6 + 171.2 = 195.8\text{N/mm}^2 < f$$，满足要求。

（5）节点验算

1）梁柱连接节点螺栓强度验算

梁柱节点采用 10.9 级 M16 高强度螺栓摩擦连接，构件接触面采用喷砂，摩擦面抗滑移系数 $\mu = 0.45$，每个高强度螺栓的预拉力按表 4-12 为 100kN，见图 9-24（b）。连接处传递内力设计值 $N = -16.1\text{kN}$，$V = 37.5\text{kN}$，$M = 61.4\text{kN}\cdot\text{m}$。

螺栓强度验算按表 4-14 中公式（4-46）及（4-33）：

每个螺栓的拉力

$$N_1 = \frac{My_1}{\Sigma y_i^2} - \frac{N}{n} = \frac{61.4 \times 0.19}{4 \times (0.19^2 + 0.105^2)} - \frac{16.1}{8} = 62.0 - 2.0 = 60\text{kN}$$

$$< 0.8 \times 100 = 80\text{kN}$$

$$N_2 = \frac{My_2}{\Sigma y_i^2} - \frac{N}{n} = \frac{61.4 \times 0.105}{4 \times (0.19^2 + 0.105^2)} - \frac{16.1}{8} = 34.0 - 2.0 = 32\text{kN}$$

螺栓群的抗剪力：

$N_V^b = 0.9 n_f \mu p = 0.9 \times 1 \times 0.45 \times 100 \times 8 = 324\text{kN} > V = 37.5\text{kN}$，满足要求。

最外排一个螺栓的抗剪、抗拉力，应用公式（4-34）：

$$\frac{N_V}{N_V^b} + \frac{N_t}{N_t^b} = \frac{37.5/8}{324/8} + \frac{60}{80} = 0.87 \leqslant 1$$，满足要求

从安全和构造上考虑最好采用大于 M20 的螺栓。

2）端部厚度验算

端板厚度取为 $t = 22\text{mm}$

按公式（9-34）伸臂类端板计算

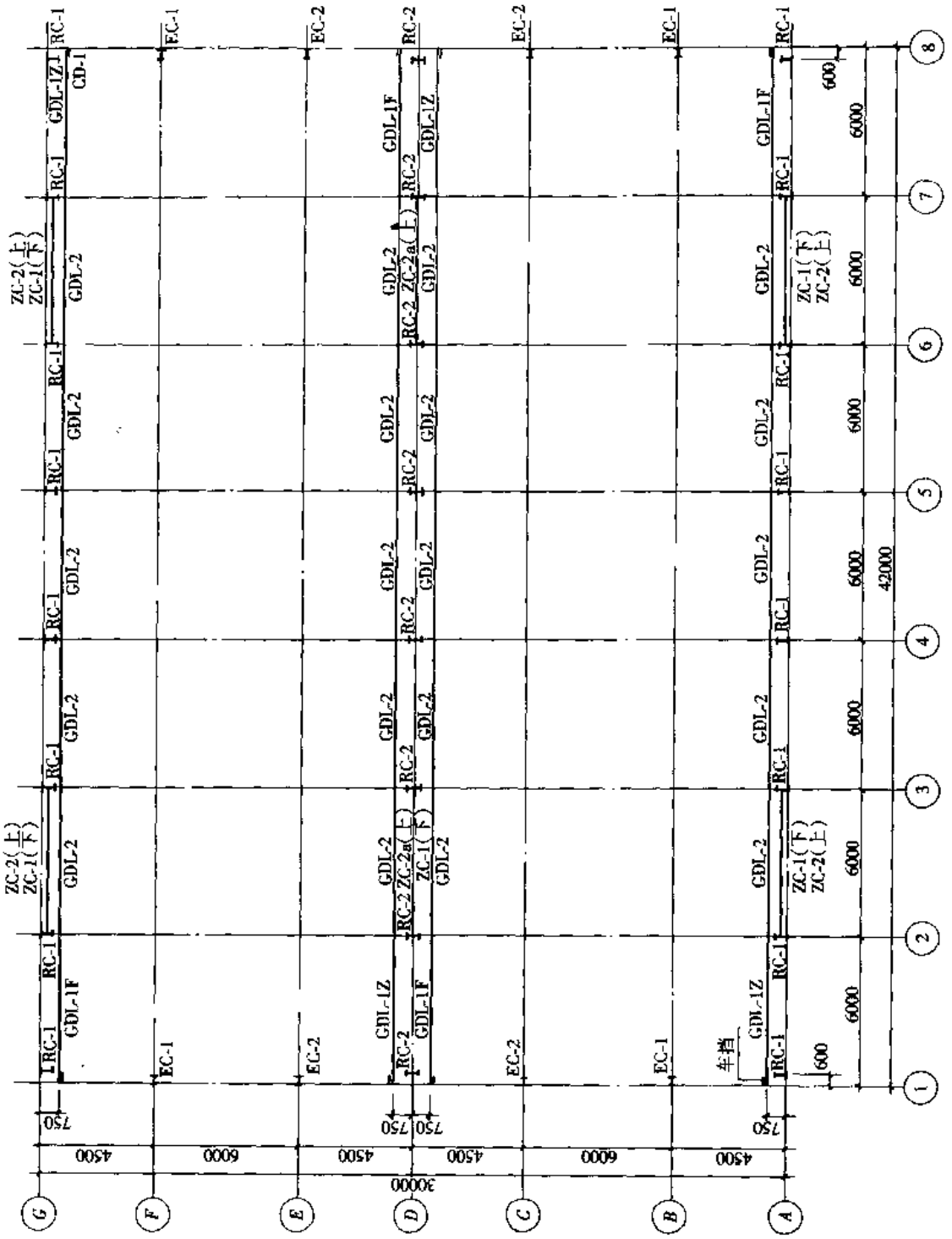


图 9-25　结构平面布置图

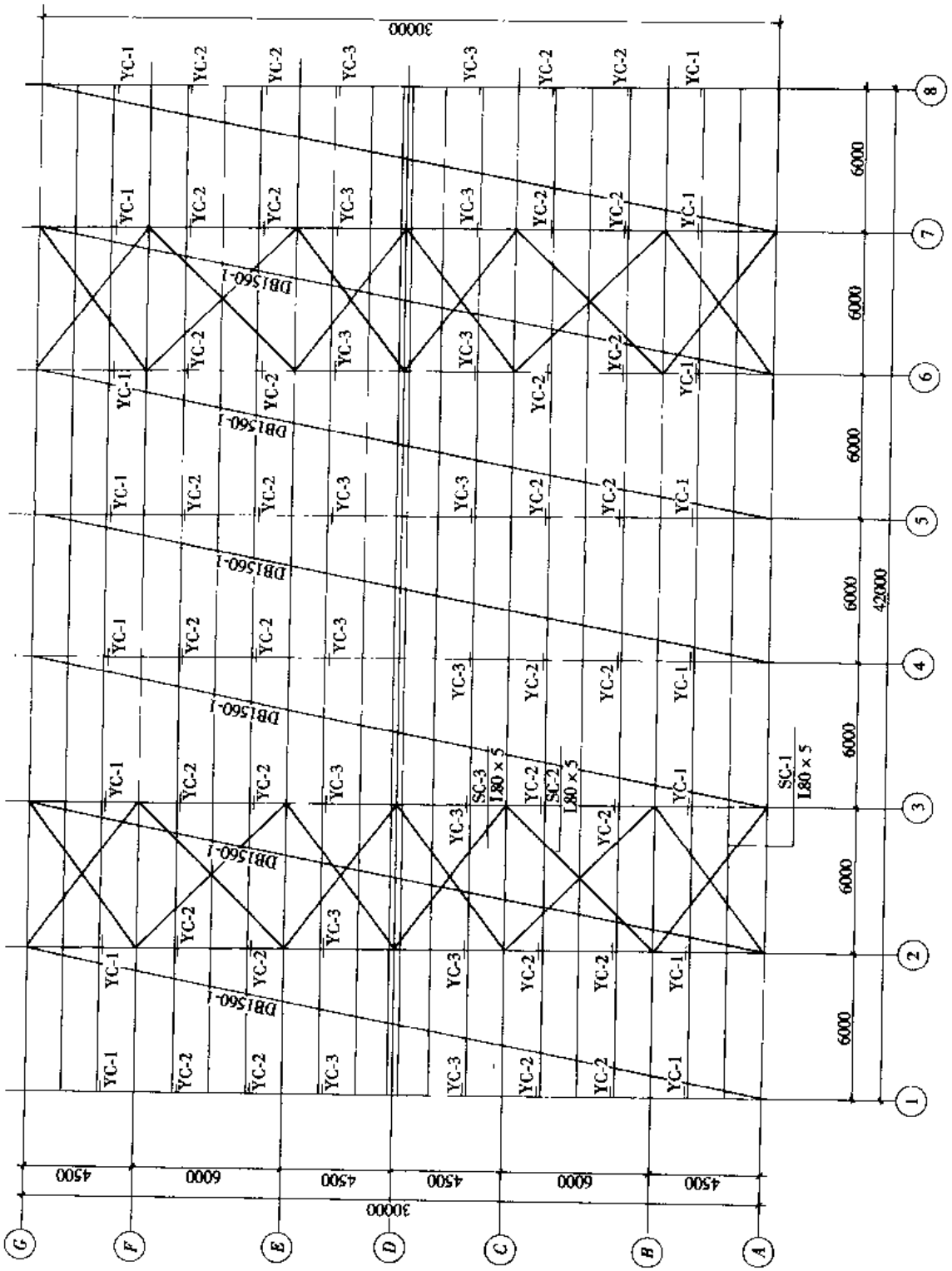


图 9-26 屋面板、水平支撑及隅撑平面布置图

$$t \geqslant \sqrt{\frac{6e_f N_t}{bf}} = \sqrt{\frac{6 \times 40 \times 60000}{150 \times 205}} = 21.6\text{mm}$$

若计算不能满足，可在两块端板外侧分别加设加劲肋后按相邻边支承的端板计算，能满足要求。

3）梁柱节点域的剪应力验算

根据公式（9-40），取 $\xi = 3/4$。

$$\tau = \frac{3}{4}\frac{M_{b1} + M_{b2}}{V_p} = \frac{3 \times 61.41 \times 10^6}{4 \times 284 \times 284 \times 6} = 95\text{N/mm}^2 < 125\text{N/mm}^2$$，满足要求。

如取 $\xi = 1.0$，$\tau = 127\text{N/mm}^2$，则不能满足要求，此时可以加厚腹板或设置斜加劲肋。

4）螺栓处腹板强度验算

根据公式（9-38a）当 $N_{t2} = 32\text{kN} \leqslant 0.4P$ 时

$$\frac{0.4P}{e_w t_w} = \frac{0.4 \times 100 \times 1000}{40 \times 6} = 167 < f = 215\text{N/mm}^2$$

5）横梁跨中节点螺栓、端板及柱底板验算略。由于柱底剪力较小，$V = 14.1\text{kN} < 0.4N = 0.4 \times 58.7 = 23.5\text{kN}$，不需设置剪力键。但在柱间支撑开间必须设置剪力键见图9-17。

10. 位移及用钢量

根据计算结果，刚架最大相对位移为 1/188 < 1/150。刚架用钢量为 744kg（10.3 kg/m^2）。

本例题外载标准值 0.8kN/m^2 < 1.0kN/m^2，柱高 5m < 6m，也可偏安全地直接选用表9-6中的 CJA1260-2。

【例题 9-2】　双跨双坡带单梁式吊车门式刚架（CJ-2）

1. 设计资料

双跨双坡门式刚架，跨度 15m，柱高 8.725m，屋面坡度 1/20；刚架柱距 6m。屋面采用发泡水泥复合大型屋面板 DB1560-1（1.5m × 6.0m），外墙及中柱隔墙为发泡水泥复合墙板 DQB1560，隔墙高 3m，每跨设一台 5t 电动单梁吊车。本工程属于丙类建筑，抗震设防烈度为 7 度，为减少温度应力，端部支撑设在第二开间。屋面水平支撑和柱间支撑在相同柱间设置，第一跨设刚性系杆。结构平面布置图见图 9-25。屋面板、水平支撑及隅撑平面

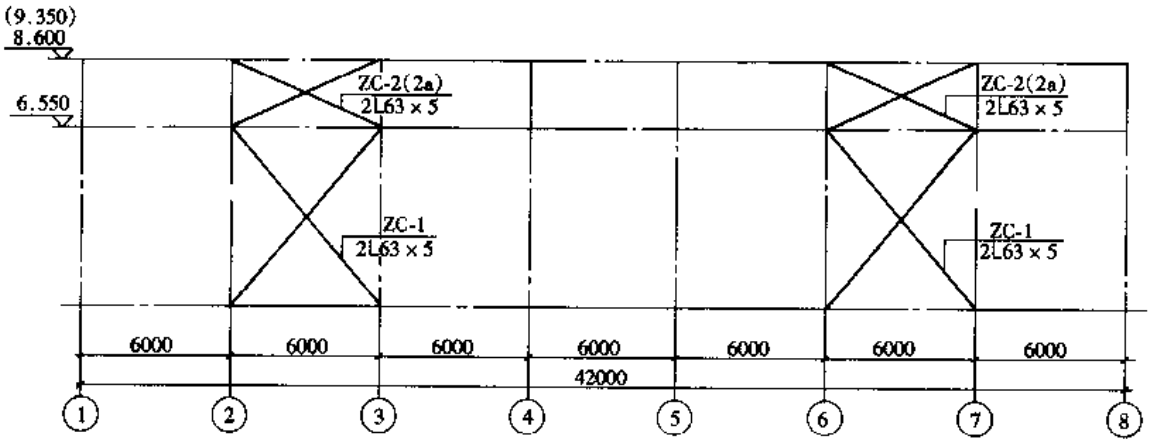


图 9-27　柱间支撑布置图

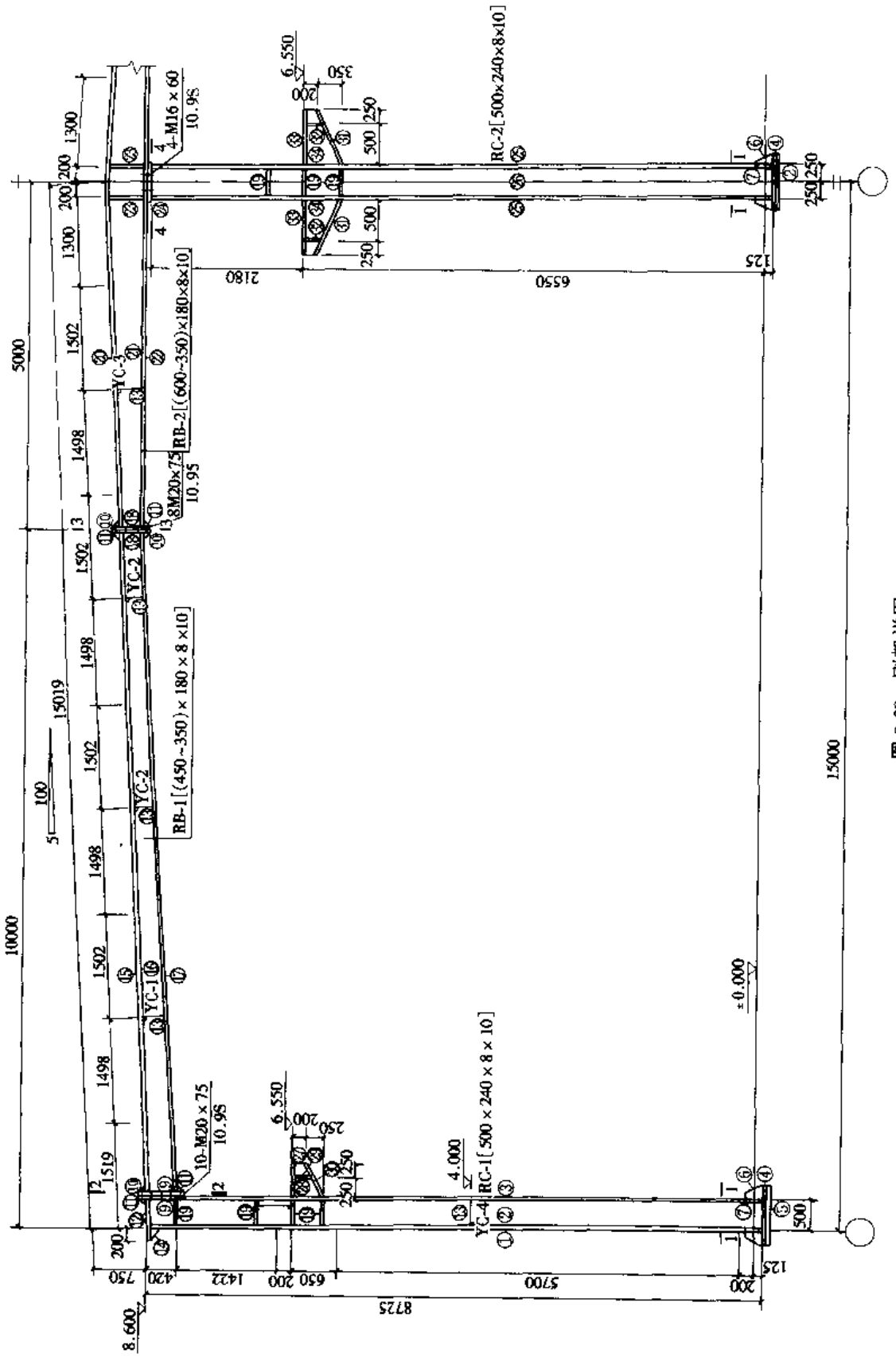

RC-2[500×240×8×10]
4-M16×60
10.9S
RB-2[(600~350)×180×8×10]
8M20×75
10.9S
RB-1[(450~350)×180×8×10]
10-M20×75
10.9S
RC-1[500×240×8×10]
YC-1
YC-2
YC-3
YC-4
±0.000
6.550
4.000
8.600
8725
5700
6550
2180
15000
10000
5000
15019
100
5

图 9-28 刚架详图

布置图见图 9-26。柱间支撑见图 9-27。

2. 荷载

(1) 永久荷载标准值（对水平投影面）

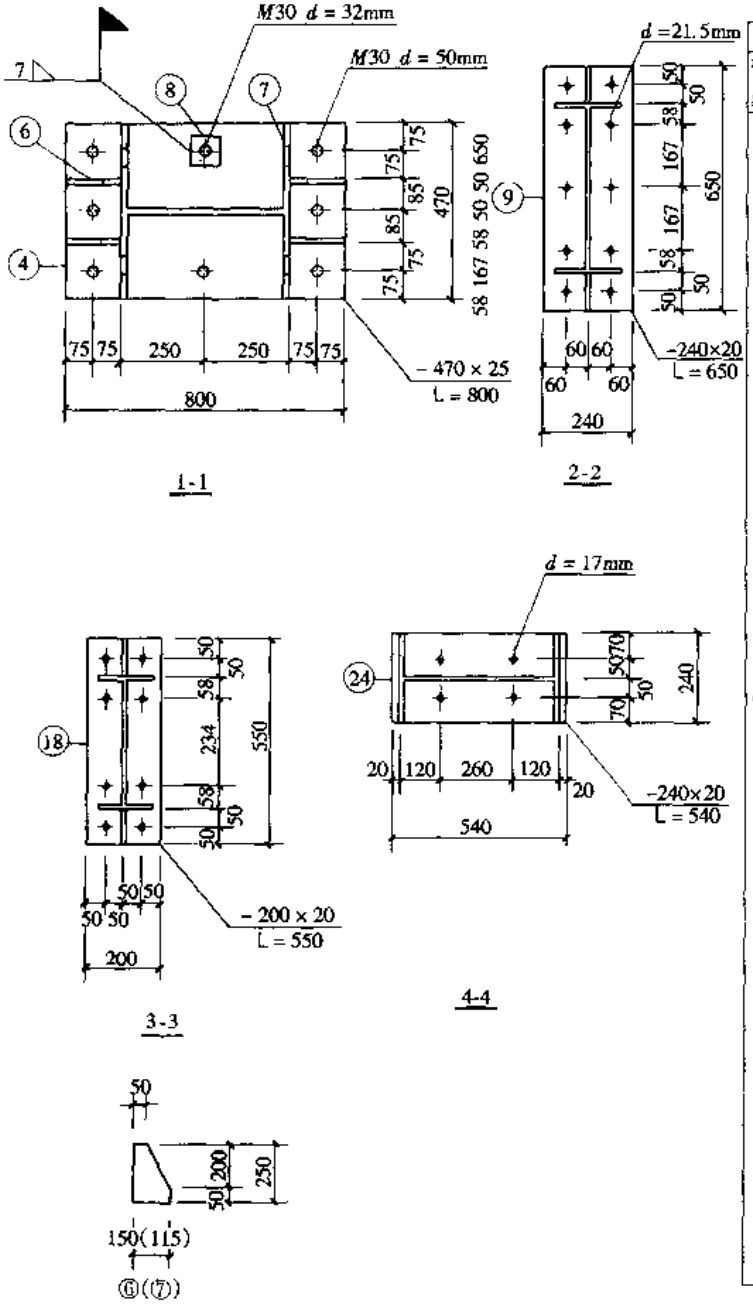
发泡水泥复合大型屋面板及防水层　　$0.8kN/m^2$

(2) 可变荷载标准值

屋面活荷载与雪荷载中较大值　　$0.5kN/m^2$

(3) 风荷载标准值

基本风压值取 $0.4kN/m^2$，风荷载体型系数按中间区封闭式取用。



材料表

构件编号	构件编号	规格	长度(mm)	数量	重量 单重	重量 共重	总重
CJ-2	1	-240×10	8718	2	164.3	328.6	4224
	2	-480×8	8742	2	263.5	527.0	
	3	-240×10	8184	2	154.4	308 8	
	4	-470×25	800	3	73.8	221.4	
	5	-50×50	800	6	15 7	94.2	
	6	-150×10	250	12	2.9	35.3	
	7	-115×10	250	12	2.2	26.4	
	8	-80×16	80	24	0.8	19.2	
	9	-240×20	650	4	24.5	98.0	
	10	-95×8	100	6	0.6	3 6	
	11	-100×8	106	8	0.7	5.6	
	12	-240×10	691	2	13.0	26.0	
	13	-85×6	100	20	0.4	8.0	
	14	-200×8	200	2	2.5	5.0	
	15	-180×10	9462	2	133.7	267.4	
	16	-430~330×8	9462	2	230.0	460.0	
	17	-180×10	9468	2	133 7	267.4	
	18	-200×20	550	4	17.3	69.2	
	19	-116×10	480	18	4.4	79.2	
	20	-180×10	9972	1	146.5	146.5	
	21	-330~580×8	9960	1	287.1	287.1	
	22	-180×10	9960	1	140.8	140.8	
	23	-86×8	576	4	3.2	12 8	
	24	-240×20	540	1	20.4	20.4	
	25	-240×10	8855	2	166.8	333.6	
	26	-480×8	8855	1	266.9	266.9	
	27	-240×10	450	2	8.5	17.0	
	28	-430~180×10	450	2	11.0	22.0	
	29	-115×8	289	2	2.1	4.2	
	30	-240×10	500	2	9.7	19.4	
	31	-240×10	836	2	14.8	29.6	
	32	-115×8	278	4	2.0	8.0	
	33	-240×10	750	2	13.2	26.4	
	34	-530~180×10	750	2	19.5	39.0	

注　本图材料表长度仅供下料参考，以放样尺寸为准

图 9-29　刚架剖面图及材料表

3. 杆件内力

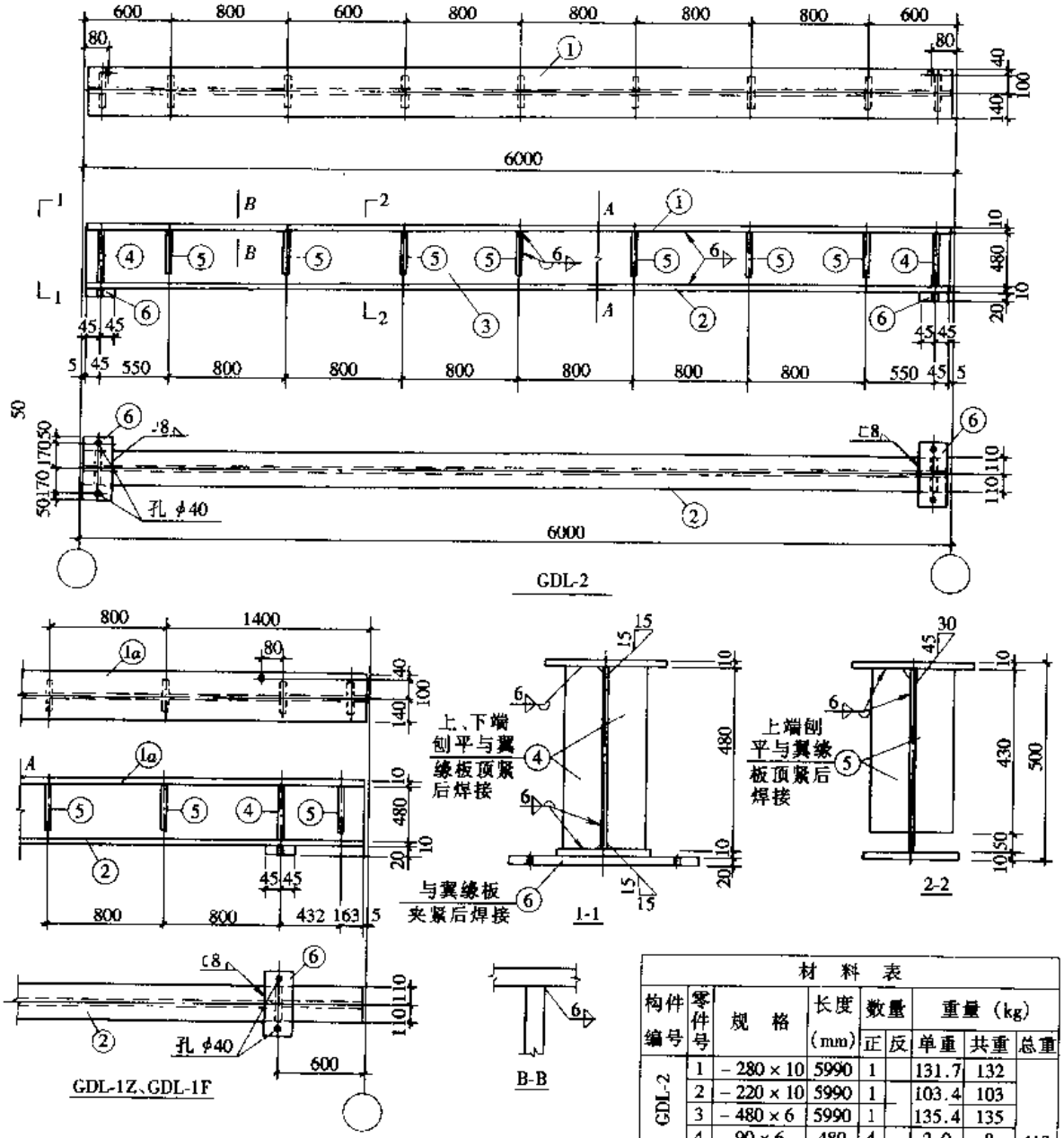
杆件内力设计值及截面均由 3D3S 完成。

4. 杆件和节点详图

图 9-28 为刚架详图；图 9-29 为刚架剖面图及材料表；图 9-30 为吊车梁详图；图 9-31 为吊车梁连接节点图；图 9-32 为抗风柱详图；图 9-33 为支撑节点图。

5. 位移及用钢量

根据计算结果，刚架最大相对位移为 1/154≈1/150 可。用钢量为 4224kg (23.5kg/m^2)。



注：1. 未注明的孔径为 φ21.5；

2. GDL-1、2 的零件 1 号预留孔位置不同；

3. 吊车轨道选用 CGTK38 或 CGQY38 焊接型，见表 8-18b 注 2。

材 料 表

构件编号	零件号	规 格	长度 (mm)	数量 正	数量 反	重量 (kg) 单重	重量 (kg) 共重	总重
GDL-1、GDL-2	1	−280×10	5990	1		131.7	132	412
	2	−220×10	5990	1		103.4	103	
	3	−480×6	5990	1		135.4	135	
	4	−90×6	480	4		2.0	8	
	5	−90×6	380	14		1.6	22	
	6	−90×20	440	2		6.2	12	

图 9-30 吊车梁详图

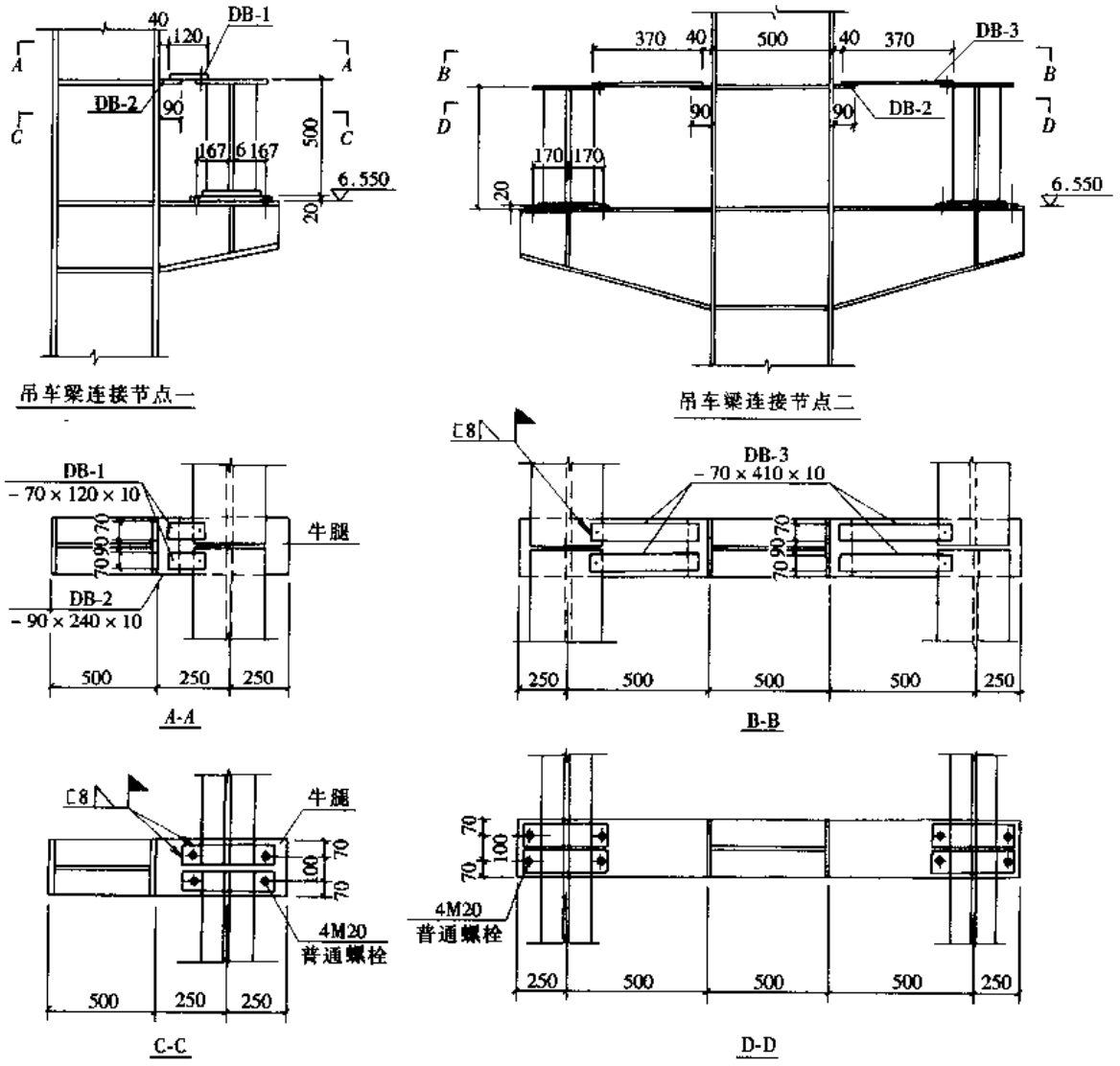
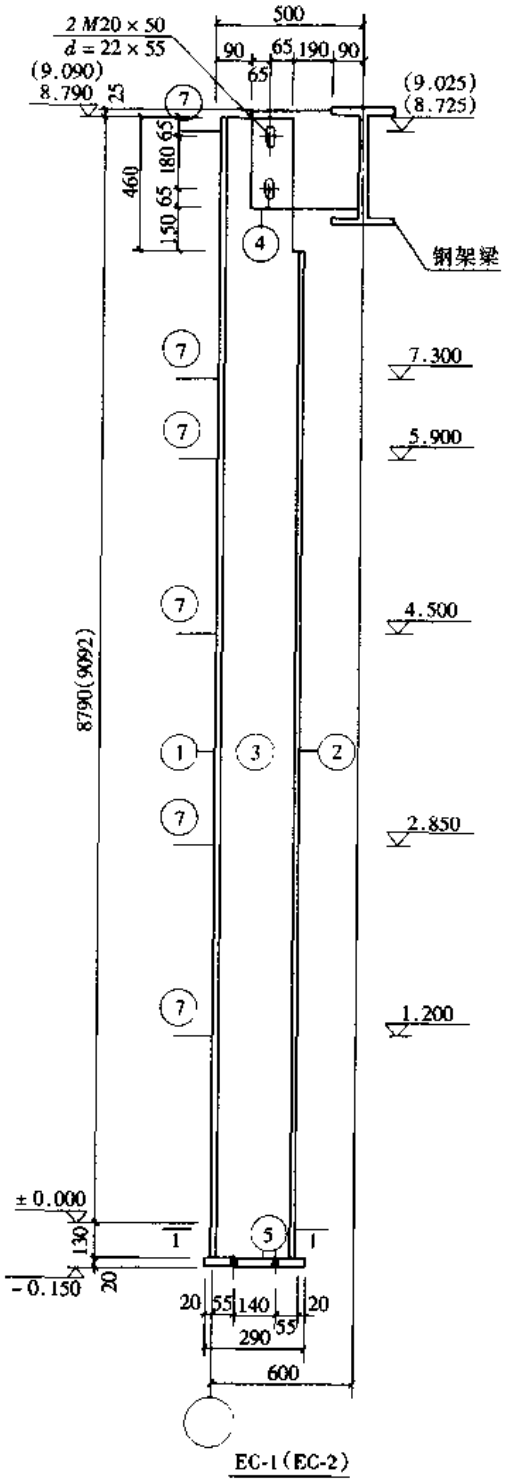
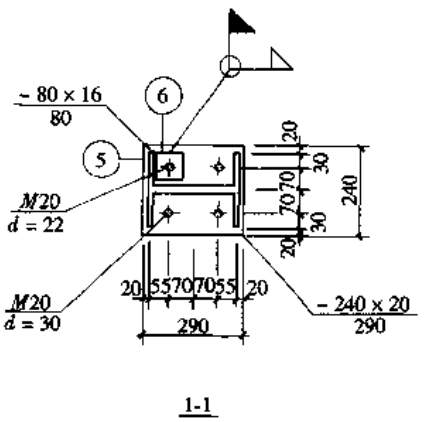


图 9-31　吊车梁连接节点图

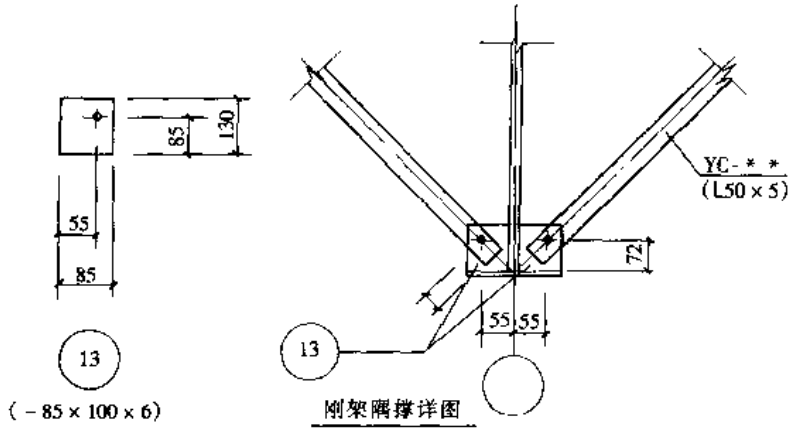


材料表						
构件编号	构件编号	规格	长度(mm)	数量		备注
				正	反	
EC-1	1	- 200 × 8	8920	1		
	2	- 200 × 8	8460	1		
	3	- 284 × 6	8920	1		
	4	- 335 × 8	407	1		
	5	- 240 × 20	290	1		
	6	- 80 × 16	80	4		
	7	- 140 × 6	160	5		现场焊接
EC-2	1	- 200 × 8	9222	1		
	2	- 200 × 8	8762	1		
	3	- 284 × 6	9222	1		
	4	- 335 × 8	407	1		
	5	- 240 × 20	290	1		
	6	- 80 × 16	80	4		
	7	- 140 × 6	160	6		现场焊接

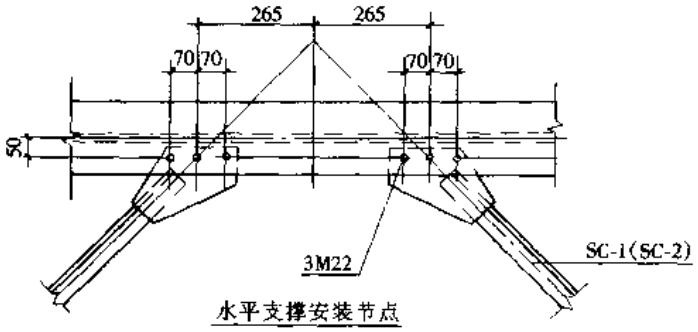


1-1

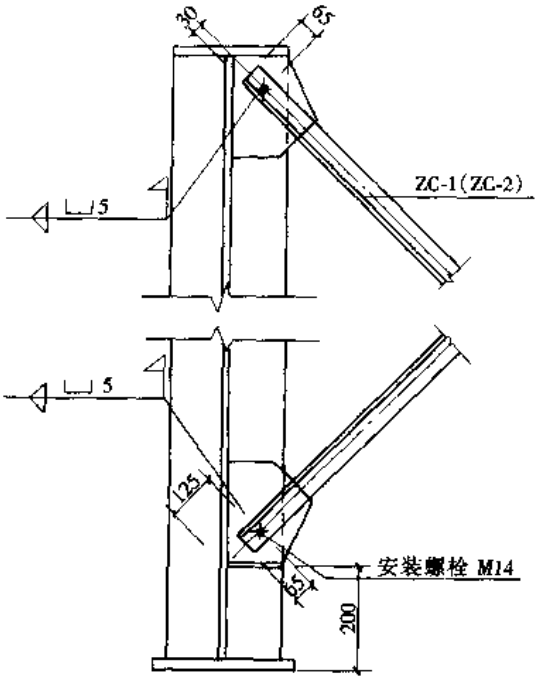
图 9-32 抗风柱详图



(a)



(b)



(c)

图 9-33　支撑节点图

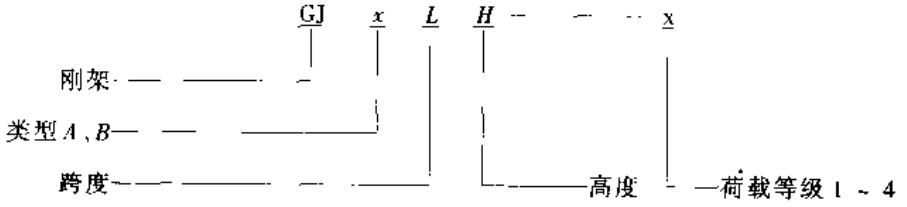
(a) 隅撑；(b) 水平支撑；(c) 柱间支撑

9.7 刚架设计系列

9.7.1 说明

1. 本节提供常用的单（双）跨双坡不带吊车的门式刚架，在4种荷载等级，5种跨度（每跨2种高度）下的72榀刚架构件的杆件截面尺寸和连接螺栓大小，供设计参考和选用。刚架跨度 L 由9m到21m，每跨相隔3m，刚架高度 H 由4.5m到9m，每种高度相隔1.5m。刚架的柱距均为6m。刚架跨度 L 取横向框架柱外边缘的距离；刚架高度，取室内地坪±0.00至柱轴线与横梁上边缘交点的高度。

2. 构件编号和荷载等级



（1）刚架类型以 A、B 表示：

A—单跨双坡刚架；

B—双跨双坡刚架，中间为摇摆柱。

（2）刚架构件的荷载等级见表9-5。

刚架荷载等级表 **表9-5**

荷载等级	恒荷载标准值 (kN/m^2)	活荷载标准值 (kN/m^2)	总荷载标准值 (kN/m^2)	总荷载设计值 (kN/m^2)	基本风压值 (kN/m^2)
1	0.3	0.3	0.6	0.78	0.5
2	0.3	0.7	1.0	1.34	0.5
3	0.9	0.5	1.4	1.78	0.5
4	1.1	0.7	1.8	2.30	0.5

注：表中的荷载不包括刚架及支撑重量，假定荷载均匀作用于刚架横梁上，刚架及支撑重量在计算内力及截面选用中已考虑，不必另计。

3. 刚架配用的屋面种类

有檩体系：檩距为1.5m或3.0m压型钢板或夹芯板；

无檩体系：1.5m×6.0m或3.0m×6.0m的发泡水泥复合大型屋面板。

4. 刚架构件的钢材均为Q235，焊条用E43型。钢材和角焊缝的强度设计值分别取 $f=215N/mm^2$，$f_f^w=160N/mm^2$。刚架构件的翼缘与端板的连接应采用全熔透对接焊缝，腹板与端板的连接应采用角焊缝，坡口形式应符合现行国家标准《手工电弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》GB 985的规定。对接焊缝与构件等强。

5. 风荷载体型系数按《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）取用。

6. 对于一般封闭式房屋应在刚架柱顶及屋脊处（横梁跨中）设置隅撑；在其余檩条和墙梁处可间隔设置（间距3000mm）。刚架横梁和柱平面外的侧向支撑点间距均取3m。

7. 刚架柱脚均采用铰接形式，剪力键在柱间支撑跨的基础内必须设置，构造见图9-34，该图配合刚架选用表及节点板和螺栓选用表使用。

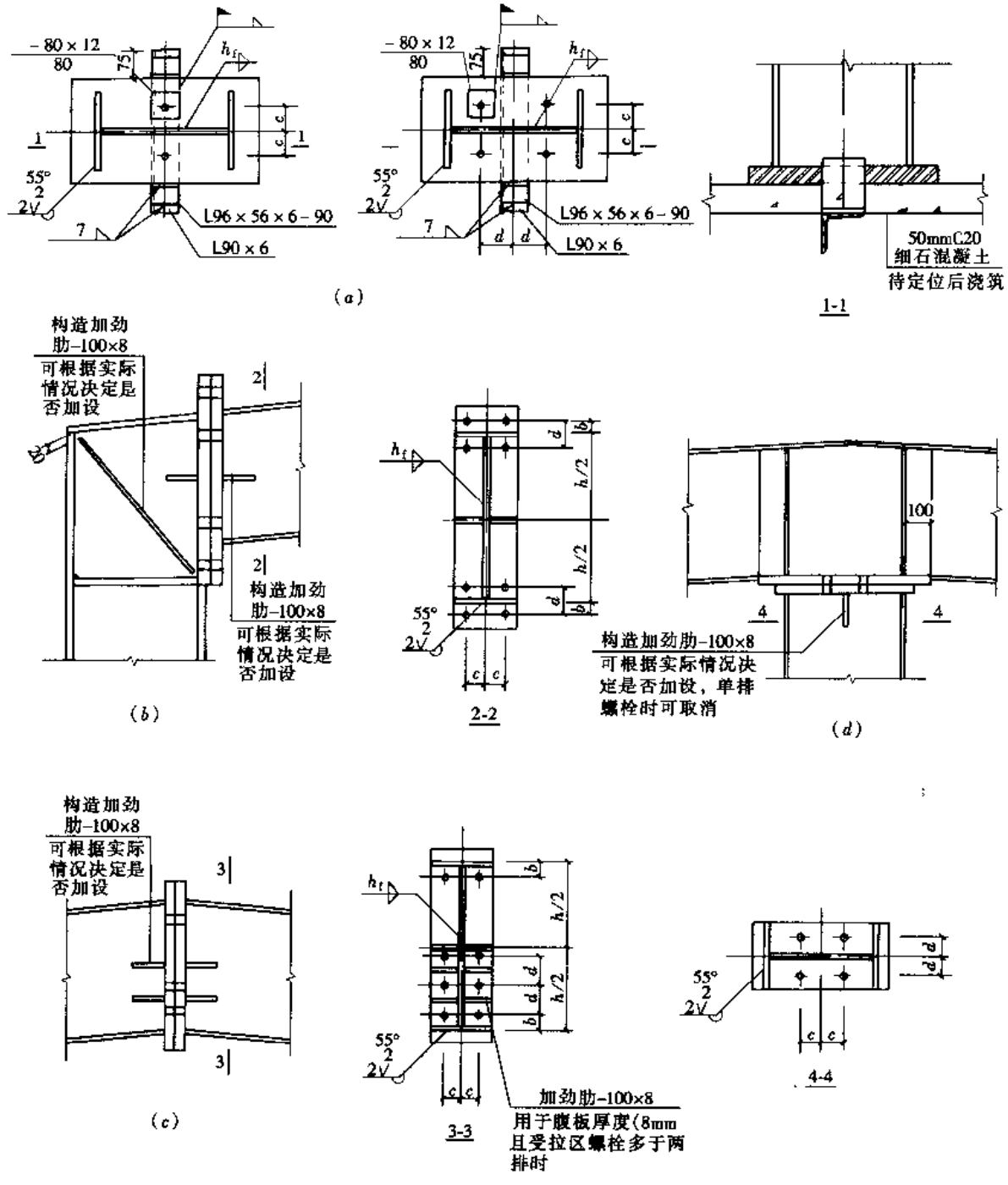


图 9-34　刚架连接节点构造

(a) 柱脚铰接节点；(b) 梁、柱连接节点；(c) 梁中连接节点（一）（单跨刚架跨中节点）；(d) 梁中连接节点（二）（双跨刚架摇摆柱上端节点）

8. 其他如刚架构件计算长度、高强度螺栓等规定参考设计实例有关说明。

9. 设计软件采用中国建筑科学研究院 PKPM-CAD 工程部（STS）

9.7.2 刚架截面选用表

见表 9-6。

9.7.3 刚架螺栓及节点板

见表 9-7。

刚架截面选用表 表 9-6

所在序号页次	编号	刚架跨度高度 $L \times h$（m）	柱截面尺寸（mm）	梁截面尺寸（mm）
1	GJA0945-1	9×4.5	280×120×4×6	280×120×4×6
2	GJA0945-2	9×4.5	300×180×4×8	300×180×4×8
3	GJA0945-3	9×4.5	300×180×4×8	300×180×4×8
4	GJA0945-4	9×4.5	360×180×4×8	360×180×4×8
5	GJA0960-1	9×6.0	300×180×4×8	300×180×4×8
6	GJA0960-2	9×6.0	300×180×4×8	300×180×4×8
7	GJA0960-3	9×6.0	360×180×4×8	360×180×4×8
8	GJA0960-4	9×6.0	400×180×6×8	400×180×6×8
9	GJA1260-1	12×6.0	300×180×4×8	300×180×4×8
10	GJA1260-2	12×6.0	380×180×4×8	380×180×4×8
11	GJA1260-3	12×6.0	450×180×6×8	450×180×6×8
12	GJA1260-4	12×6.0	480×200×6×10	480×200×6×10
13	GJA1275-1	12×7.5	350×180×4×8	350×180×4×8
14	GJA1275-2	12×7.5	420×180×6×8	420×180×6×8
15	GJA1275-3	12×7.5	480×200×6×10	480×200×6×10
16	GJA1275-4	12×7.5	520×200×6×10	520×200×6×10
17	GJA1560-1	15×6.0	320×180×4×8	320×180×4×8
18	GJA1560-2	15×6.0	450×180×6×8	450×180×6×8
19	GJA1560-3	15×6.0	500×200×6×10	500×200×6×10
20	GJA1560-4	15×6.0	600×200×8×10	600×200×8×10
21	GJA1575-1	15×7.5	400×180×6×8	400×180×6×8
22	GJA1575-2	15×7.5	480×200×6×10	480×200×6×10
23	GJA1575-3	15×7.5	550×200×6×10	550×200×6×10
24	GJA1575-4	15×7.5	620×200×8×10	620×200×8×10
25	GJA1875-1	18×7.5	450×180×6×8	450×180×6×8
26	GJA1875-2	18×7.5	500×200×6×10	500×200×6×10
27	GJA1875-3	18×7.5	620×200×8×10	620×200×8×10
28	GJA1875-4	18×7.5	700×200×8×12	700×200×8×12
29	GJA1890-1	18×9.0	480×200×6×10	480×180×6×10
30	GJA1890-2	18×9.0	600×200×6×10	600×200×6×10
31	GJA1890-3	18×9.0	640×220×8×10	640×220×8×10

续表

所在序号页次	编号	刚架跨度高度 $L \times h$（m）	柱截面尺寸（mm）	梁截面尺寸（mm）
32	GJA1890-4	18 × 9.0	700 × 200 × 8 × 12	700 × 200 × 8 × 12
33	GJA2175-1	21 × 7.5	480 × 200 × 6 × 10	480 × 200 × 6 × 10
34	GJA2175-2	21 × 7.5	620 × 200 × 8 × 10	620 × 200 × 8 × 10
35	GJA2175-3	21 × 7.5	700 × 200 × 8 × 12	700 × 200 × 8 × 12
36	GJA2175-4	21 × 7.5	700 × 280 × 8 × 14	700 × 280 × 8 × 14
37	GJA2190-1	21 × 9.0	480 × 200 × 6 × 10	480 × 200 × 6 × 10
38	GJA2190-2	21 × 9.0	620 × 200 × 8 × 10	620 × 200 × 8 × 10
39	GJA2190-3	21 × 9.0	700 × 200 × 8 × 12	700 × 200 × 8 × 12
40	GJA2190-4	21 × 9.0	700 × 280 × 8 × 14	700 × 280 × 8 × 14
41	GJB0945-1	9 × 4.5	280 × 150 × 4 × 6	300 × 150 × 4 × 8
42	GJB0945-2	9 × 4.5	280 × 150 × 4 × 6	300 × 150 × 4 × 8
43	GJB0945-3	9 × 4.5	300 × 180 × 4 × 8	360 × 180 × 4 × 8
44	GJB0945-4	9 × 4.5	350 × 180 × 4 × 8	450 × 180 × 6 × 8
45	GJB0960-1	9 × 6.0	280 × 150 × 4 × 6	300 × 150 × 4 × 8
46	GJB0960-2	9 × 6.0	280 × 150 × 4 × 6	300 × 150 × 4 × 8
47	GJB0960-3	9 × 6.0	300 × 180 × 4 × 8	360 × 180 × 4 × 8
48	GJB0960-4	9 × 6.0	350 × 180 × 4 × 8	450 × 180 × 6 × 8
49	GJB1260-1	12 × 6.0	300 × 180 × 4 × 8	300 × 150 × 4 × 8
50	GJB1260-2	12 × 6.0	300 × 180 × 4 × 8	420 × 160 × 4 × 8
51	GJB1260-3	12 × 6.0	400 × 180 × 6 × 8	500 × 180 × 6 × 8
52	GJB1260-4	12 × 6.0	460 × 180 × 6 × 8	620 × 200 × 6 × 10
53	GJB1275-1	12 × 7.5	300 × 180 × 4 × 8	300 × 150 × 4 × 8
54	GJB1275-2	12 × 7.5	300 × 180 × 4 × 8	420 × 160 × 4 × 8
55	GJB1275-3	12 × 7.5	400 × 180 × 6 × 8	500 × 180 × 6 × 8
56	GJB1275-4	12 × 7.5	460 × 180 × 6 × 8	620 × 200 × 6 × 10
57	GJB1560-1	15 × 6.0	300 × 180 × 4 × 8	400 × 160 × 4 × 8
58	GJB1560-2	15 × 6.0	340 × 180 × 4 × 8	540 × 180 × 6 × 8
59	GJB1560-3	15 × 6.0	440 × 180 × 6 × 8	620 × 200 × 6 × 10
60	GJB1560-4	15 × 6.0	480 × 200 × 6 × 10	700 × 200 × 8 × 10
61	GJB1575-1	15 × 7.5	300 × 180 × 4 × 8	400 × 160 × 4 × 8
62	GJB1575-2	15 × 7.5	340 × 180 × 4 × 8	540 × 180 × 6 × 8
63	GJB1575-3	15 × 7.5	440 × 180 × 6 × 8	620 × 200 × 6 × 10
64	GJB1575-4	15 × 7.5	480 × 200 × 6 × 10	700 × 200 × 8 × 10
65	GJB1875-1	18 × 7.5	400 × 180 × 6 × 8	460 × 180 × 6 × 8
66	GJB1875-2	18 × 7.5	480 × 200 × 6 × 10	620 × 200 × 6 × 10

续表

所在序号页次	编号	刚架跨度高度 $L \times h$（m）	柱截面尺寸（mm）	梁截面尺寸（mm）
67	GJB1875-3	18 × 7.5	520 × 200 × 6 × 10	720 × 240 × 8 × 12
68	GJB1875-4	18 × 7.5	600 × 220 × 8 × 10	750 × 250 × 8 × 12
69	GJB1890-1	18 × 9.0	400 × 180 × 6 × 8	460 × 180 × 6 × 8
70	GJB1890-2	18 × 9.0	480 × 200 × 6 × 10	620 × 200 × 6 × 10
71	GJB1890-3	18 × 9.0	520 × 200 × 6 × 10	720 × 240 × 8 × 12
72	GJB1890-4	18 × 9.0	600 × 220 × 8 × 10	750 × 250 × 8 × 12

注：表中 H 为梁柱截面高；B 为截面宽；t_w、t_f 分别为腹板和翼缘的板厚。

刚架螺栓及节点板选用表 表 9-7

序号	刚架编号	柱脚节点					梁柱连接节点					梁中连接节点				
		支座板				螺栓	节点板				螺栓	节点板				螺栓
		h_t	c	d			h_t	b	c	d		h_t	b	c	d	
1	GJA0945-1	250 × 320 × 20				2 × M24	150 × 450 × 18				8 × M20	150 × 330 × 18				4 × M20
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	—	
2	GJA0945-2	250 × 340 × 20				2 × M24	200 × 490 × 20				8 × M20	200 × 350 × 20				6 × M20
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	80	
3	GJA0945-3	250 × 340 × 20				2 × M24	200 × 490 × 22				8 × M24	200 × 350 × 20				6 × M24
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	80	
4	GJA0945-4	250 × 400 × 20				2 × M24	200 × 550 × 22				8 × M24	200 × 410 × 22				6 × M24
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	80	
5	GJA0960-1	250 × 340 × 20				2 × M24	200 × 490 × 18				8 × M20	200 × 350 × 18				4 × M20
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	—	
6	GJA0960-2	250 × 340 × 20				2 × M24	200 × 490 × 20				8 × M20	200 × 350 × 20				6 × M20
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	80	
7	GJA0960-3	250 × 400 × 20				2 × M24	200 × 550 × 22				8 × M24	200 × 410 × 22				6 × M24
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	80	
8	GJA0960-4	250 × 440 × 20				2 × M24	200 × 590 × 22				8 × M24	200 × 450 × 22				6 × M24
		6	75	—			6	40	40	90		6	50	40	80	
9	GJA1260-1	250 × 340 × 20				2 × M24	200 × 490 × 18				8 × M20	200 × 350 × 18				6 × M20
		4	75	—			4	40	40	90		4	50	40	80	
10	GJA1260-2	250 × 420 × 20				2 × M24	200 × 570 × 22				8 × M22	200 × 430 × 22				6 × M22
		4	75	—			4	40	45	90		4	50	45	80	
11	GJA1260-3	250 × 490 × 20				2 × M24	200 × 640 × 28				8 × M24	200 × 500 × 22				6 × M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	
12	GJA1260-4	250 × 520 × 20				2 × M24	220 × 670 × 28				8 × M24	220 × 540 × 22				6 × M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	

续表

序号	刚架编号	柱脚节点					梁柱连接节点					梁中连接节点				
		支座板				螺栓	节点板				螺栓	节点板				螺栓
		h_f	c	d			h_f	b	c	d		h_f	b	c	d	
13	GJA1275-1	250×400×20				2×M24	220×540×20				8×M24	220×400×20				6×M20
		6	75	—			6	40	40	90		6	50	40	80	
14	GJA1275-2	250×460×20				2×M24	200×610×22				8×M22	200×480×22				6×M22
		7	75	—			7	40	45	90		7	50	45	80	
15	GJA1275-3	250×520×20				2×M24	220×670×25				8×M24	220×540×25				6×M24
		7	75	—			7	40	45	90		7	50	45	80	
16	GJA1275-4	250×560×20				2×M24	220×710×28				8×M24	220×560×28				6×M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	
17	GJA1560-1	250×360×20				2×M24	200×510×20				8×M20	220×380×20				6×M20
		6	75	—			6	40	45	90		6	50	40	80	
18	GJA1560-2	250×490×20				2×M24	200×640×25				8×M24	200×550×25				6×M24
		7	75	—			7	40	45	90		7	50	45	80	
19	GJA1560-3	250×540×20				2×M24	220×690×28				8×M24	220×550×28				6×M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	
20	GJA1560-4	250×640×20				2×M24	220×790×28				8×M24	220×660×28				6×M24
		8	75	—			8	40	50	90		8	50	50	80	
21	GJA1575-1	250×440×20				2×M24	200×590×20				8×M24	200×450×20				6×M24
		6	75	—			6	40	45	90		6	50	40	80	
22	GJA1575-2	250×520×20				2×M24	220×670×25				8×M24	220×540×25				6×M24
		7	75	—			7	40	45	90		7	50	45	80	
23	GJA1575-3	250×590×20				2×M24	220×740×28				8×M24	220×600×28				6×M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	
24	GJA1575-4	250×660×20				2×M24	220×810×28				8×M24	220×680×28				8×M24
		8	75	—			8	40	50	90		8	50	50	80	
25	GJA1875-1	250×490×20				2×M24	200×640×25				8×M24	200×500×25				6×M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	
26	GJA1875-2	250×540×20				2×M24	220×690×28				8×M24	220×550×28				6×M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	
27	GJA1875-3	250×660×20				4×M24	220×810×28				10×M24	220×680×28				8×M24
		8	75	145			8	40	50	90		8	50	50	80	
28	GJA1875-4	260×740×20				4×M24	220×890×30				10×M24	220×760×30				8×M24
		8	75	145			9	40	55	90		8	50	55	80	
29	GJA1890-1	250×520×20				2×M24	200×670×28				8×M24	200×540×28				6×M24
		7	75	—			7	40	50	90		7	50	50	80	

续表

序号	刚架编号	柱脚节点				梁柱连接节点					梁中连接节点				
		支座板			螺栓	节点板				螺栓	节点板				螺栓
		h_t	c	d		h_t	b	c	d		h_t	b	c	d	
30	GJA1890-2	250×640×20			2×M24	220×790×28				8×M24	200×660×28				6×M24
		7	75	—		7	40	50	90		7	50	50	80	
31	GJA1890-3	300×680×20			4×M24	250×830×28				10×M24	200×700×28				8×M24
		8	75	145		8	40	50	90		8	50	50	80	
32	GJA1890-4	250×740×20			4×M24	220×890×30				10×M24	220×760×30				8×M24
		8	75	145		9	40	55	90		8	50	55	80	
33	GJA2175-1	250×520×20			2×M24	220×670×28				8×M24	220×540×28				6×M24
		7	75	—		7	40	45	90		7	50	45	80	
34	GJA2175-2	250×640×20			4×M24	220×810×28				10×M24	220×680×28				8×M24
		8	75	145		7	40	50	90		7	50	50	80	
35	GJA2175-3	250×740×20			4×M24	220×890×28				10×M24	220×760×28				8×M24
		8	85	145		9	40	60	90		8	50	60	80	
36	GJA2175-4	350×740×20			4×M24	300×890×28				12×M24	300×760×28				10×M24
		8	85	170		8	40	60	90		8	50	60	80	
37	GJA2190-1	250×520×20			2×M24	220×670×28				8×M24	180×450×28				8×M24
		7	75	—		7	40	45	90		7	50	45	80	
38	GJA2190-2	250×660×20			4×M24	220×810×28				10×M24	200×680×28				8×M24
		8	75	145		8	40	50	90		8	50	50	80	
39	GJA2190-3	250×740×20			4×M24	220×890×30				10×M24	220×760×30				8×M24
		8	85	145		9	40	60	90		8	50	60	80	
40	GJA2190-4	350×740×20			4×M24	300×890×30				12×M24	220×760×30				10×M24
		8	85	170		8	40	60	90		9	50	60	80	
41	GJB0945-1	250×320×20			2×M24	180×470×14				8×M20	180×340×8				2×M20
		4	75	—		4	40	40	90		—	—	—	40	
42	GJB0945-2	250×320×20			2×M24	180×470×14				8×M20	180×340×8				2×M20
		4	75	—		4	40	40	90		—	—	—	40	
43	GJB0945-3	250×340×20			2×M24	200×490×16				8×M20	200×350×8				2×M20
		4	75	—		4	40	45	90		—	—	—	45	
44	GJB0945-4	250×390×20			2×M24	200×540×18				8×M20	200×400×10				2×M20
		4	75	—		7	40	45	90		—	—	—	45	
45	GJB0960-1	250×320×20			2×M24	180×490×18				8×M20	180×350×8				4×M20
		4	75	—		4	40	40	90		—	—	40	50	
46	GJB0960-2	250×320×20			2×M24	180×490×18				8×M20	180×350×8				4×M20
		4	75	—		4	40	40	90		—	—	40	50	

续表

序号	刚架编号	柱脚节点					梁柱连接节点					梁中连接节点				
		支座板				螺栓	节点板				螺栓	节点板				螺栓
		h_f	c	d			h_f	b	c	d		h_f	b	c	d	
47	GJB0960-3	250×340×20				2×M24	200×550×20				8×M20	200×350×10				4×M22
		4	75	—			7	40	45	90		—	—	40	50	
48	GJB0960-4	250×390×20				2×M24	200×640×20				8×M20	200×400×10				4×M22
		4	75	—			7	40	45	90		—	—	40	50	
49	GJB1260-1	250×340×20				2×M24	180×490×18				8×M20	200×350×8				4×M20
		6	75	—			6	40	45	90		—	—	40	50	
50	GJB1260-2	250×340×20				2×M24	180×610×18				8×M20	200×350×10				4×M20
		6	75	—			6	40	50	90		—	—	40	50	
51	GJB1260-3	250×440×20				2×M24	200×690×20				8×M20	200×450×10				4×M22
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
52	GJB1260-4	250×500×20				2×M24	220×810×20				8×M20	200×510×12				4×M22
		7	75				7	40	50	90			-	40	50	
53	GJB1275-1	250×340×20				2×M24	180×390×18				8×M20	200×350×8				4×M20
		7	75	—			6	40	50	90		—	—	40	50	
54	GJB1275-2	250×340×20				2×M24	180×610×18				8×M20	200×350×10				4×M20
		6	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
55	GJB1275-3	250×440×20				2×M24	200×690×20				8×M20	200×450×10				4×M22
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
56	GJB1275-4	250×500×20				2×M24	220×810×20				8×M20	200×510×12				4×M24
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
57	GJB1560-1	250×340×20				2×M24	180×590×18				8×M20	200×350×10				4×M20
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
58	GJB1560-2	250×380×20				2×M24	200×730×20				8×M20	200×400×12				4×M20
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
59	GJB1560-3	250×480×20				2×M24	220×810×20				10×M22	220×500×12				4×M22
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
60	GJB1560-4	250×520×20				2×M24	220×890×22				10×M22	220×530×14				4×M24
		7	75	—			7	40	60	90		—	—	40	50	
61	GJB1575-1	250×340×20				2×M24	180×590×18				8×M22	200×350×10				4×M20
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	
62	GJB1575-2	250×380×20				2×M24	200×730×20				8×M20	200×390×12				4×M20
		7	75	—			7	40	55	90		—	—	40	50	
63	GJB1575-3	250×480×20				2×M24	220×810×20				10×M22	200×490×12				4×M22
		7	75	—			7	40	50	90		—	—	40	50	

续表

序号	刚架编号	柱脚节点					梁柱连接节点					梁中连接节点				
		支座板				螺栓	节点板				螺栓	节点板				螺栓
		h_t	c	d			h_t	b	c	d		h_t	b	c	d	
64	GJB1575-4	250×460×20			2×M24		220×890×22				10×M22	220×530×14				4×M22
		7	75	—			7	40	75			—	—	40	50	
65	GJB1875-1	250×440×20			2×M24		200×650×20				8×M20	200×450×12				4×M20
		7	75	—			6	40	55	90		—	—	40	50	
66	GJB1875-2	250×520×20			4×M24		220×810×22				8×M22	220×530×12				4×M20
		7	75	120			7	40	55	90		—	—	40	50	
67	GJB1875-3	250×560×20			4×M24		260×910×24				10×M22	220×570×14				4×M22
		7	75	120			7	40	60	90		—	—	40	50	
68	GJB1875-4	250×640×20			4×M24		280×940×24				14×M22	250×650×14				6×M22
		8	75	120			8	40	60	90		—	—	40	50	
69	GJB1890-1	250×440×20			2×M24		200×650×20				8×M20	200×450×12				4×M20
		7	75	—			6	40	55	90		—	—	40	45	
70	GJB1890-2	250×520×20			4×M24		220×670×22				8×M22	220×530×12				4×M20
		7	75	120			7	40	55	90		—	—	40	50	
71	GJB1890-3	250×560×20			4×M24		260×910×24				10×M22	220×570×14				4×M22
		7	75	120			7	40	60	90		—	—	40	50	
72	GJB1890-4	250×640×20			4×M24		280×940×24				14×M22	250×650×14				6×M22
		8	75	120			8	40	60	90		—	—	40	50	

9.8 有关刚架设计中的若干问题

9.8.1 关于门式刚架风荷载体形系数 μ_s

关于门式刚架风荷载体形系数 μ_s 的取用，目前似乎有两种。一种是根据美国金属房屋制造商协会 MBMA《低层房屋体系手册》（1996）中规定，针对小跨度房屋分别给出房屋端区和中间区不同的风荷载体型系数 μ_s；另一种是我国《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）[3]第 7.3 节规定的体型系数 μ_s。前者似乎是专门针对低层钢结构房屋的，且已为多个国家采用。后者在我国沿用 50 多年。但按这两种 μ_s 的取值，所算得的风荷载组合弯矩设计值相比，有较大差别。前者在多数情况下算得的风荷载组合弯矩设计值偏小甚多。我国《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》（CECS102）[5]是根据前者并经过实测作出规定的。而《全国民用建筑工程设计技术措施——结构》中则规定在大多数（L_0/h）$\leqslant 4$ 的门式刚架采用“荷载规范”表 7.3.1 的体型系数 μ_s，但当（L_0/h）>4、风荷载较大、屋面荷载较轻的少数门式刚架有可能会出现按“门式刚架技术规程”的风荷载体型系数 μ_s 计算，要比按“荷载规范”计算的风荷载组合弯矩稍偏大的情况，而仍保留“门式刚架技术规程”[5] 的风荷载体型系数 μ_s。目前两种风荷载体型系数 μ_s 共存，设计部门都有采用，有些设计软件

则只运用［5］一种体型系数。这是值得注意的。现以实例作分析，供参考。

1.［3］第7.3节表7.3.1项次2

（以下分析“荷载规范”及“门式刚架技术规程”分别以文献［3］及［5］代表）

柱：迎风面　$\mu_s=+0.8$，背风面 $\mu_s=-0.5$

梁：迎风面　$\mu_s=-0.6$，背风面 $\mu_s=-0.5$

2.［5］附录A表A.0.2-1中间区

柱：迎风面　$\mu_s=+0.25$，背风面 $\mu_s=-0.55$

梁：迎风面　$\mu_s=-1.0$，背风面 $\mu_s=-0.65$

3.［3］与［5］的体形系数和内力相比

柱面：W_1、W_4 中的 μ_s［3］比［5］大，其比值为（0.8+0.5）/（0.25+0.55）≈1.63。

从所举例子 M 看［3］/［5］$=-111.6/-67=1.67$ 与 μ_s 之比1.63接近。

梁面：W_5、W_6 中的 μ_s［5］比［3］大，其比值为（1+0.65）/（0.6+0.5）=1.5。

从所举例子 M 看［5］/［3］≈69/46=1.5与 μ_s 比一致。

4.初步分析

（1）对柱面的 μ_s［3］比［5］大1.63倍，前者安全。

（2）对梁面的 μ_s［3］比［5］小1.50倍，后者安全。

（3）这反映两个问题

1）应考虑柱高和梁跨两个重要参数，即刚架跨长 L 与柱高 h 的比值 L/h。

2）梁面风荷载 μ_s 均为风吸力（负值）与刚架竖向恒载和活载起相互抵消作用，因此不能单纯从［3］与［5］两者风的弯矩绝对值大小相比来判别何者安全，而应从两者的弯矩组合值综合相比，即表9-8中的3（恒、活、风）。

5.计算实例

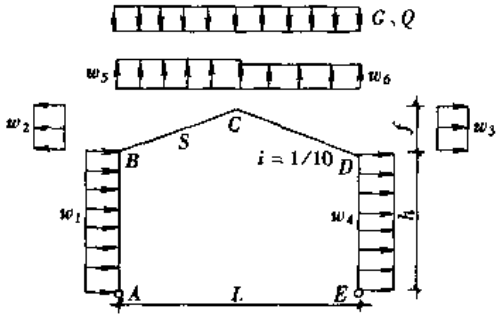


图9-35　刚架计算简图

以表9-8序号1中的刚架为例，基本风压为0.5kN/m²，地面粗糙度类别为B类，$w_k=\beta_z\mu_s\mu_z w_0$，式中 β_z 为风振系数。根据中国建筑科学研究院建筑结构研究所规范室的意见：高度小于30m的单层工业房屋仍可按以往实践经验不考虑风振系数 β_z，本设计中房屋高度 $h=9\text{m}<30\text{m}$，取 $\beta_z=1$，$h<10\text{m}$，取 $\mu_z=1$，于是得

$$w_k=w_i=\mu_s w_0 \quad i=1\sim 6$$

按［3］，$w_1=0.8\times0.5\times6=2.4\text{kN/m}$

$$w_4=0.5\times0.5\times6=1.5\text{kN/m}$$

按［5］，$w_1=0.25\times0.5\times6=0.75\text{kN/m}$，$w_4=0.55\times0.5\times6=1.65\text{kN/m}$

（1）刚架内力（表22-1）

已知 $I_b=I_c$，$k=I_{BC}/I_{AB}$（h/s）≈1，$h=9\text{m}$，$S=9.04\text{m}$，

$$a=h^2(k+3)+f(3h+f)=9^2(1+3)+0.9(3\times9+0.9)=349$$

1）由 W_1、W_4

$$H_{A1}=-w_1h+[5hk+6(2h+f)](w_1-w_4)\,h^2/16a$$

$$H_{E1}=-w_4h-[5hk+6(2h+f)](w_1-w_4)\,h^2/16a$$

式中 $[5hk+6(2h+f)]h^2/16a=[5\times9\times1+6(2\times9+0.9)]9^2/16\times349=2.29$

A. 按 [3]

$$H_{A1}=-2.4\times9+2.29(0.8-0.5)\times0.5\times6=-19.5(\text{kN})\leftarrow$$

$$H_{E1}=-1.5\times9-2.29\times(0.8-0.5)\times0.5\times6=-15.6$$

$$M_B=(-2.4/2)\times9^2+19.5\times9=78.3\text{kN}\cdot\text{m},1.4M_B=109.6$$

$$M_D=(1.5/2)\times9^2-15.6\times9=-79.7,1.4M_D=-111.6$$

B. 按 CECS102

同样求得 $1.4M_B=68.6$　　$1.4M_D=-67$

以上计算表明，在 w_1，w_4 作用下　$M_B\approx-M_D$

2) 由 w_2. w_3

A. 按 [3]

$$H_{A2}=w_2f-[8h^2(k+3)+5f(4h+f)]f(w_2+w_3)/16a$$

$w_2=-0.6\times0.5\times6=1.80\text{kN/m}$　$w_3=-0.5\times0.5\times6=-1.50\text{kN/m}$

$$H_{A2}=1.80\times0.9-[8\times9^2\times4+5\times0.9\times(4\times9+0.9)]0.9(w_2+w_3)/16\times349$$

$$=1.62-0.445(1.8+1.5)=0.15\rightarrow$$

$$H_{E2}=-w_3f+0.445(w_2+w_3)=-1.5\times0.9+0.445(1.8+1.5)=0.12$$

$M_B=H_{A2}h=0.15\times9=1.35$，$1.4M_B=-1.9$；$M_D=H_{E2}h=0.12\times9=1.08$，$1.4M_D=1.51$

B. 按 [5]　$w_2=-1\times0.5\times6=-3\text{kN/m}$　$w_3=-0.65\times0.5\times6=-1.95\text{kN/m}$

得 $1.4M_B=-6.3$　$1.4M_D=5.7$

计算表明 w_2. w_3 影响不大，当屋面坡度 $i<1/10$ 时，可忽略。

3) 由 w_5、w_6，$H_{A3}=-H_{E3}=-(8h+5f)L^2(w_5+w_6)/64a$

按 [3]：$w_5=-1.80$，$w_6=-1.50$

按 [5]：$w_5=-3.0$，$w_6=-1.95$

A. 按 [3]

$$H_{A3}=-H_{E3}=-(8\times9+5\times0.9)18^2(w_5+w_6)/64\times349$$

$$=0.00342\times324(1.8+1.5)=3.65$$

$M_B=H_{A3}h=3.65\times9=32.9$　$1.4M_B=46$　$1.4M_D=46$

B. 按 [5] 得：　　$1.4M_B=69$　$1.4M_D=69$

4) 由 $w_1\sim w_6$（将以上综合）

A. [3]：$M_B=109.6-1.9+46=154$　$M_D=-111.6+1.51+46=-64$

B. [5]：$M_B=131.3$　　$M_D=8$

5) 由 G、Q，

$$G=0.3\times6\times1.2=2.16\text{kN/m},Q=0.5\times6\times1.4=4.2$$

A. 由 G　$H=H_{A4}=-H_{E4}=GL^2(8h+5f)/32a=G\cdot18^2(8\times9+5\times0.9)/(32\times349)$

$$=2.22G=2.22\times2.16=4.8\text{kN}$$

$M_D=M_B=-H\times h=-4.8\times9=-43.2\text{kN}\cdot\text{m}$

当恒载 G 使刚架有利时　$M_B/1.2 = -36$

B）由 Q，$M_B = M_D = -2.22 \times 4.2 \times 9 = -84$

（2）内力组合

1）按［3］，　$G = 0.3\text{kN/m}^2$　$Q = 0.5\text{kN/m}^2$　$w_0 = 0.5\text{kN/m}^2$

A. 恒、活荷载

$$M_B = M_D = -43.2 - 84 = -127.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

B. 恒、活、风荷载

$M_B = 154 - 36 = 118\text{kN} \cdot \text{m}$（不计活载时，恒载除以 1.2）

$M_D = -64 \times 0.7 - 43.2 - 84 = -172\text{kN} \cdot \text{m}$（风载乘以组合系数 $\psi_c = 0.7$）

2）按［5］，G、Q、w_0 同上

A. 恒、活荷载　　同上

B. 恒、活、风荷载

$M_B = 131.3 - 36 = 95\text{kN} \cdot \text{m}$，$M_D = 8 \times 0.7 - 43.2 - 84 = -121\text{kN} \cdot \text{m}$

（3）弯矩图

见图 9-36 和表 9-8 序号 1 第一行数据。

［3］　　［5］

$w_2 + w_3 + w_5 + w_6$

6. ［3］与［5］弯矩组合设计值

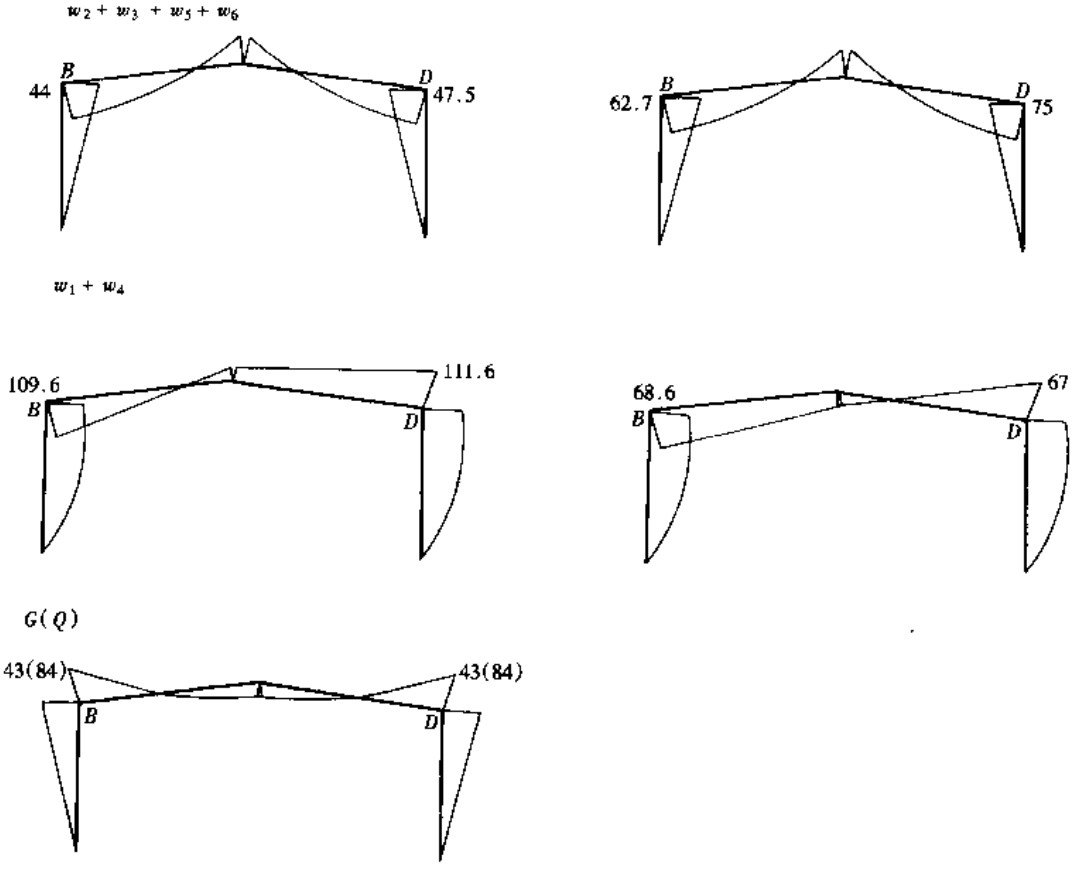


图 9-36　刚架弯矩图（设计值）

刚架风荷载弯矩组合设计值比较表 表 9-8

序号	刚架尺寸 (m)	恒载 G_k (kN/m²)	活载 Q_k (kN/m²)	基本风压 w_0 (kN/m²)	M_B (kN·m)			M_D (kN·m)			$\frac{M_{max}(3)}{[3]/[5]}$ (%)	$\frac{M_{max}(3)}{M(2)}$ (%)
					1 风	2 恒、活	3 恒、活、风	1 风	2 恒、活	3 恒、活、风		
1	$L=18$ $h=9$ 柱距 6m $L/h=2$ $i=1/10$	0.3	0.5	0.5	154/131.3	-127	118/95	-64/8	-127	-172/-121	142	135
		0.3	0.3	0.7	215/185	-94	179/149	-90/-10	-94	-168/-69	120	190
		0.5	0.5	0.7	215/185	156	155/125	-90/-10	-156	-221/-149	148	142
2	$L=15$ $h=5.4$ 柱距 7.5m $L/h=2.78$ $i=1/15$	1	0.5	0.5	94/97	-219	-153/-18	-6/36	-219	-227/-183	124	104
		0.5	0.5	0.5	94/97	-150	-56/39	-6/36	-150	-174/-115	151	116
		1	0.5	0.7	132/136	-219	-89/21	-8/50	-219	-229/-169	136	105
3	$L=18$ $h=6$ 柱距 6m $L/h=3$ $i=1/15$	0.3	0.5	0.5	95/106	-138	56/67	5/45	-138	-135/-107	126	—
		0.3	0.3	0.5	95/106	-102	56/67	5/45	-102	-99/-71	139	—
		0.3	0.3	0.7	133/148	-102	94/109	7/63	-102	-97/-57	89	95、107 (GB)(CE)
4	$L=18$ $h=4.5$ 柱距 6m $L/h=4$ $i=1/15$	0.3	0.5	0.5	80/95	-143	26/41	24/61	-143	-126/-101	125	—
		0.3	0.3	0.5	80/95	-105	26/41	24/61	-105	-88/-63	140	—
		0.3	0.3	0.7	80/95	-105	58/79	34/85	-105	-71/-20	90	—

注：1. 表中分子为按 [3] 计算，分母为按 [5] 计算；文中 [3] / [5] 表示按文献 [3] 的计算值与按文献 [5] 计算值之比，其余类推。

2. 序号 1、3、4，刚架：梁、柱截面尺寸相同，即 $I_b=I_c$。序号 2，刚架初拟：梁为 H350×175×4.5×8，$I_b=9586cm^4$；柱为 H400×200×6×8，$I_c=15126cm^4$。

3. M_B 中为正值时，应不计活载，为 1.4 风 - 1.0 恒。跨中 M_c 不控制，未列。

4. 第三种组合中（恒、活、风）均已考虑了非最大可变荷载的组合系数 0.7。

5. M_{max} (3) 为第二种组合 [3] / [5]（%）均取最大弯矩绝对值之比，而 $\frac{M_{max}(3)}{M(2)}$（%）也同理。

6. 风荷载（1）的弯矩为非组合值仅作为两本规范风弯矩值大小比较的参考，影响结构安全度的末列 $\frac{M_{max}(3)}{M(2)}$（%）。"-"为"活+恒（2）"控制，与风荷载取值无关。

7. 未列有两个数值者为两本规范算得的 M_{max} (3) 与 M (2) 之比。

8. 表中 [3] 与 [5] 的基本风压 w_0 取值相同，未考虑后者在计算时乘以提高系数 1.05。

7. 结论

（1）房屋风荷载的体型系数与房屋形状有关，与所选结构类型无关，一般应采用 [3] 第 7.3 节中所列的风荷载体型系数 μ_s 计算结构风荷载。

（2）[5] 借鉴国外实测 μ_s 资料，可供设计人员作为加强刚架个别截面和验算的参考。从表 9-8 的末两列数据看，当刚架 $L/h\leqslant 4$ 时，控制截面的弯矩组合设计值比按 [3] 算得的小得多，影响安全。

（3）比较两本规范风荷载的效应，不能单从两者风荷载（1）项进行比较，应将两者的弯矩组合设计值（3）综合进行比较才能得出合乎情理的正确结论。而按 [5]，风几乎

不起作用，全部由恒荷载＋活荷载控制设计，似不合常理。

（4）常用刚架的跨高比 $L/h \leqslant 4$，控制截面在 D 点，梁右端向上弯曲（负弯矩），梁左端 B 则相反，一般 B 点不控制。它仅当 $L/h > 4$、且屋面恒载小、风荷载较大时，在“1.4风－1.0恒”作用下，风吸力有可能使梁端的正弯矩比恒载引起的负弯矩大，这样，二者抵消后可能使 B 点正弯矩值还大于 D 点负弯矩值，此时 B 点才起控制作用（见表9-8，序号3末项）。但它不会超出按［3］算得的很多，不会影响安全。

（5）本章第9.7节结构系列中给出的表9-6是参照《轻型钢结构设计指南》将其原按［5］所取用的 μ_s，改用［3］的 μ_s 重新给出的，通过40多榀单跨刚架分析，其梁柱弯矩组合设计值（3）与表9-8给出的几榀刚架分析基本一致，梁柱截面面积需加大10%～30%，似应引起高度重视。

9.8.2　刚架横梁和柱端弯矩的近似估算

柱底铰接的单跨门式刚架为一次超静定结构。当横梁和柱为变截面时计算十分复杂，必须借用计算机求解。当一端柱底的水平反力或柱顶（或横梁端）的弯矩求得后，就可用静力平衡公式求解。本手册根据统计分析，提出初步估算或校核平坡刚架（$i = 1/10 \sim 1/20$）控制截面的弯矩 M_B、M_d 的计算公式。

1. 横梁在竖向均布荷载 G 作用下

$$M_B = M_D = -\alpha G L_0^2 \tag{9-42}$$

式中 α 为梁端（柱顶）弯矩系数，根据柱的截面大小和高度取1/14～1/16，按柱截面尺寸和高度取用，即 I_C/h 较大时取上限，反之取下限。

$$M_C = (1/8) G L_0^2 - 1.1\alpha G L_0^2 \tag{9-43}$$

式中1.1为考虑柱顶水平力对 C 点的反拱弯矩。

2. 横梁在风吸力 w_5、w_6 作用下

仍可应用上式（9-43），但式中 G 以（$w_5 + w_6$）/2代入，并取正值。

3. 柱在迎风面（压力）w_1 和背风面（吸力）w_4 作用下

$$\begin{aligned} M_B = -M_D &= 1/2[(w_1 + w_4)h^2 - 1/2(w_1 + w_4)h^2] \\ &= (w_1 + w_2)h^2/4 \end{aligned} \tag{9-44}$$

当求得以上荷载下的 M_B、M_D 后，其他均能迎刃而解。

9.8.3　关于刚架平面外的计算长度

1. 梁的平面外计算长度 L_y

分上翼缘和下翼缘两种情况

（1）上翼缘计算长度 L_y

通常有三种取法，分述如下：

1）取上翼缘横向支撑的节距

支撑的节距，按刚架跨度，柱距确定。通常取檩距的倍数，如1.5m檩距，支撑节距可取3.0、4.5和6m。支撑的节距直接影响横梁的截面和整体稳定性。例如，对于Q235钢材，按公式（3-11）

$$\varphi_b = 1.07 - \lambda_y^2/44000 \qquad \lambda \leqslant 120$$

当 $\lambda = 60$，$\varphi_b = 0.92$；$\lambda = 70$，$\varphi_b = 0.89$；$\lambda = 80$，$\varphi_b = 0.85$；

$\lambda = 90$，$\varphi_b = 0.82$；$\lambda = 100$，$\varphi_b = 0.77$；$\lambda = 120$，$\varphi_b = 0.67$。

如 $L_y = 30$m 时，$\lambda = 60$，$\varphi_b = 0.92$；$L_y = 4.5$m 时，$\lambda = 90$，$\varphi_b = 0.82$；

$L_y = 60$m 时，$\lambda = 120$，$\varphi_b = 0.67$。

从以上分析，表明当 λ_y 增长很多，接近 120 时 φ_b 下降很多，因此具体工程中支撑的节距与所选截面大小，出平面回转半径 i_y 大小有关。

2）取隅撑间距

按图 9-11，隅撑通过檩条连接于有弹性侧移的下翼缘上，故其不能作为上翼缘受压时的侧向支点。在某些情况下可将其作为下翼缘受压时的侧向支点，具体见后面下翼缘的计算长度论述。

3）取 3m

不少轻型房屋门式刚架中取 2 个檩距，当 1.5m 檩距时取 $L_y = 3.0$m。如果以上 2 个檩距、3 根檩条，均不在横向支撑节点时，所有檩条均随梁的上翼缘侧弯，不能起支撑作用，只有位于支撑节点处的檩条才能起侧向支点作用（即取横向支撑的节距），取 $L_y = 3$m，能设计合理的横梁截面，充分发挥强度作用，

当屋面刚度好，与檩条的连接可靠时，考虑屋面实际存在的蒙皮作用，取 2 个檩距，即 3m，这按［5］第 5.1.2 条的精神在实践中也是可行的。

对设有桥式吊车、悬挂吊车的刚架和其他大跨度刚架，作者建议不一律取 $L_y = 3$m 为宜。

（2）下翼缘计算长度 L_y

通常也有两种处理办法

1）设置隅撑

不分情况取隅撑间距，隅撑间距[5]取不大于 $16b_1\sqrt{235/f_y}$（b_1 为受压翼缘宽度），多数取 3.0～4.5m。另一种观点取与上翼缘横向支撑节点处檩条相连的隅撑间距，亦即横向支撑的节距。作者认为以取后者为妥。

2）不设隅撑，取 $L_y = 0.4L$

取 $L_y = 0.4L$ 的前提与弯矩图形有关。正常情况下，梁端为负弯矩，跨中为正弯矩，考虑柱面风荷载使梁反弯点内移，故偏安全地取反弯点距梁端为 $L/5$，借用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》（GB 50018—2002）中格构式刚架平面外长度的计算公式进行计算。

$$L_0 = (1.5 + 0.5N_t/N_c)(n_c/n)L \leqslant L \tag{9-45}$$

式中 L——侧向支承点间的距离；

N_t——所有拉力平均值，计算时取负值；

N_c——所有压力平均值，计算时取正值；

n——两侧向支承点间节间总数；

n_c——内力为压力的节间数。

上式中 $N_t \approx N_c$；n 节间总数，反映总长度可取 L；n_c 压力节间数，由上取反弯点距梁端距离为 $L/5$，则 $n_c = 0.4L$；于是公式（9-45）中 $L_0 = (1.5 - 0.5 \times 1)(0.4L)\ L/L = 0.4L$

故取

$$L_y = 0.4L \tag{9-46}$$

但是当风荷载的效应大于恒荷载的效应，从而使跨中产生负弯矩，此时梁跨中下翼缘的计算长度可能比式（9-46）算得的稍大。

必须指出，在计算梁下翼缘受压的稳定时，可以认为荷载作用在受拉上翼缘，此时按表3-5均布荷载作用时算得的梁整体稳定系数弯矩系数 β_b，应按

$$\xi \leqslant 2.0, \beta_b = 1.73 - 0.2\xi$$

$$\xi > 2.0, \beta_b = 1.33$$

计算，β_b 比荷载作用在受压上翼缘大1.4～2.0倍，即整体稳定系数 φ_b 大1.4～2.0倍，经对公式（3-10）修正后，φ'_b 一般均小于1.0而大于0.6。故作者认为，如按建议公式取 $L_y = 0.4L_0$ 计算，有时尚能满足梁的整体稳定，不一定要设置隅撑。

2. 柱的平面外计算长度 L_y

分有桥式吊车和无桥式吊车两种情况

（1）有桥式吊车

上柱，　取上柱支撑与柱连接点的距离即上柱长度。

下柱，　取下柱支撑与柱连接点的距离，即下柱长度。

（2）无桥式吊车

1）取柱支撑与柱连接点距离，即柱全长。

2）取3m，与梁相同，考虑墙梁与墙板的蒙皮作用，取 $L_y = 3\text{m}$，可设计出合理的截面，关键是墙板的刚度及其与墙梁的连接牢固程度。

9.8.4　刚架节点域的抗剪强度

1. 门式刚架横梁与柱相交的节点域剪应力按公式（9-39）和（9-40）为

$$\tau \leqslant f_v \tag{9-47}$$

$$\tau = \xi M / d_b d_c t_c \tag{9-48}$$

式中　d_c、t_c——节点域的宽度和厚度；

d_b——节点域的横梁端部高度；

M——节点梁、柱端弯矩，多跨中间柱为柱端弯矩或左右梁端弯矩之代数和。

f_v——节点域钢材的抗剪强度设计值；

ξ——节点剪力提高系数。

现讨论两个问题

（1）节点剪力提高系数 ξ 的取值

[5] 1998版　　取 $\xi = 1.2$

[5] 2002版　　取 $\xi = 1.0$

GB 50017—2003　取 $\xi = 0.75$

按[5] 98或[5] 2002取 $\xi = 1.2$ 或1.0，节点域抗剪强度多数不能满足，即 $\tau > f_v$，为此，必须在节点域加设斜加劲肋。而斜加劲肋的截面尺寸没有规定。按《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）取 $\xi = 0.75$ 后，节点域抗剪强度多数能满足，个别不能满足增大

梁端高度（加腋）或改成楔形梁后均能满足。实际工程有些是不设斜加劲肋的。作者建议节点域的剪应力统一按《钢结构设计规范》GB 50017—2003[3]的公式（7.4.2-1）计算。

（2）斜加劲肋的截面尺寸

矩形节点受力图见图 9-37。斜加劲肋可按公式（9-49）计算。

$$A_S = [(M/d_b) - t_c d_c f_v]1/f\cos\theta \tag{9-49}$$

式中 M——梁端弯矩；

A_s——加劲肋截面积；

θ——加劲肋与水平线的夹角。

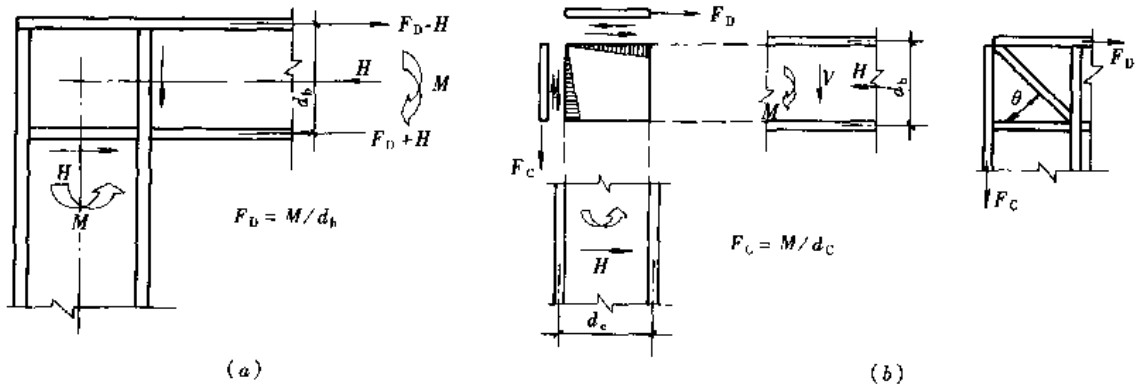


图 9-37 矩形节点受力图

（a）梁翼缘；（b）柱腹板

注意按公式（9-49）验算抗剪强度时，不论《钢结构设计规范》GB 50017—2003 中 $\xi=0.75$，还是［5］2002 版中 $\xi=1$，而在公式（9-49）中均不考虑 ξ，即取 $\xi=1$。

9.8.5 刚架梁柱宽厚比

1.《建筑抗震设计规范》（GB 50011－2001）第 9.2.12 条规定单层框架工字形截面的梁翼缘外伸部分 b_1 与其厚度 t_1 之比，对 Q235 钢材不超过以下数值：

（1）柱：7 度时 13，　8 度时 11，　9 度时 10。

（2）梁：7 度时 11，　8 度时 10，　9 度时 9。

均小于《钢结构设计规范》GB 50017—2003 考虑截面塑性时 Q235，$b_1/t_1 \leqslant 13$ 的规定。这表明在抗震区有更严格的要求。门式刚架轻型房屋钢结构同样应遵守此规定。

由于门式刚架屋面荷载较轻，吊车吨位小，按 8 度抗震区验算，一般均不控制。为此建议在 7、8 度地震区当刚架梁柱的 b_1/t_1 超出以上规定时，可取以上规定的 b_1/t_1 来验算其抗震强度，即超出部分不计。在 9 度地震区门式刚架应用的经验不多，不宜大量应用。

9.8.6 刚架的支撑截面和构造

1. 屋盖支撑

《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）第 9.1.20 规定，屋盖支撑杆件宜用型钢，目前多数采用圆钢，甚至在 8 度震区也有用圆钢的，必须引起高度重视。由于人们对震害的感受不深，认为地震发生的概率很小，因此重视不够。

由于地震为低周反复振动，不同于其他振动，震害较大，尽管屋盖支撑在规范中并无严格的间距布置和长细比 λ 的构造要求，但其截面宜符合用型钢的构造要求。结合我国

地震分布广阔的实际情况，屋盖支撑一律采用圆钢未免过分极端，根据现有的经验，作者建议8度地震区应用型钢截面，7度及以下视刚架跨度和荷载大小可考虑是否一律采用型钢。

2. 柱间支撑

与以上的屋盖支撑相同，工程中采用圆钢的也不少。由于柱间支撑为抗震中的主要受力构件，它不仅要经抗震计算确定其构件截面，还必须满足不同烈度的长细比构造要求，比屋盖支撑有更高的要求，作者认为≥7度抗震区宜用型钢。

在此强调，柱间支撑必须符合《建筑设计抗震规范》（GB 50011—2001）第9.1.26节的布置和交叉支撑斜杆最大长细比的规定，并经纵向抗震计算确定杆件截面。计算中应按"抗震规范"（GB 50011—2001）附录J.2中J.2.1和J.2.3考虑交叉斜拉杆受力、斜压杆卸载的计算公式。

3. 柱间支撑的构造

柱间支撑的构造主要是节点的构造：

（1）节点连接方式

"抗震规范"GB 50011—2001第9.1.26条规定：交叉支撑在交叉点应设置节点板，其厚度不小于10mm；斜杆与交叉节点板应焊接，与端节点板宜焊接。这里必须说明，在交叉点应设置节点板主要是指两根交叉斜杆，其中有一根斜杆中断的下柱支撑，对于两根均不中断的单角钢（背靠背）单片下柱支撑不需在交叉点处再设置节点板，而加焊小填板垫平即可。

（2）下柱支撑与柱的交点位置

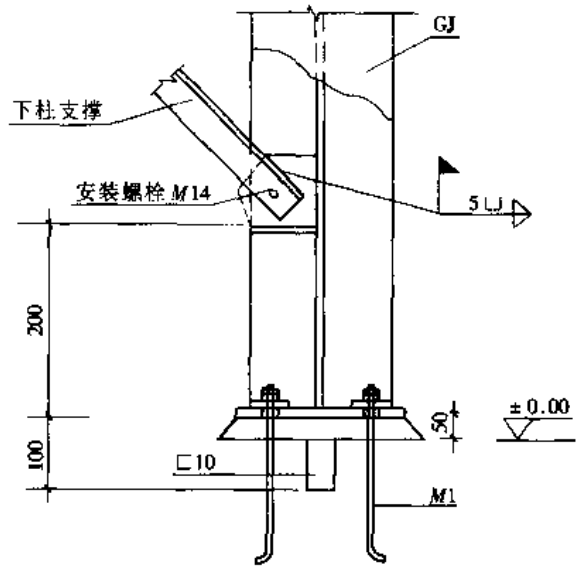


图9-38　刚架柱间支撑及柱脚安装节点

"抗震规范"（GB 50011—2001）第9.1.26规定下柱支撑的下节点位置和构造措施，应保证将地震作用直接传给基础，当6度和7度不能直接传给基础时应计及支撑对柱和基础的不利影响。即下柱支撑与柱的交点在6、7度时可设在地面以上（一般为200mm，即标高为+0.20）见图9-38。此时应考虑交叉斜拉杆的水平分力绕柱平面外（弱轴 y）的弯矩 M_y；7度以上时为消除此影响，宜将交点降至±0.00。

不论交点为+0.20或±0.00，柱脚应为保证传递柱身承载力的插入式或埋入式柱脚。6、7度时亦可采用外露式刚性柱脚。刚性柱脚，即锚栓应用足够的距离和直径抗弯（可按 M_y 计算）。6、7度时外露式刚性柱脚的组合弯矩设计值应乘以增大系数1.2。

此外，在下柱柱间支撑开间内必须设置一根混凝土水平压梁，此压梁应与柱、支撑端节点板及基础连成一体。可使柱支撑交叉斜拉杆的水平分力 H 均匀分配给柱间支撑开间内两个基础上，使水平分力 H 对基础底面的弯矩减半（参见国家建筑标准设计图集柱间

支撑 97G336 第 18 页)。

(3) 连接和节点强度

"抗震设计规范" GB 50011—2001 第 9.2.3 条又规定，柱间支撑杆件应采用整根材料，超过材料最大长度规格时可采用对接焊缝等强拼接；柱间支撑与构件的连接，不应小于支撑杆件塑性承载力的 1.2 倍。这表明杆件拼接等强而节点要超强。即节点承载力

$$N_j \geqslant 1.2Af_y \tag{9-50}$$

式中 A——支撑斜杆截面面积；

f_y——支撑斜杆钢材屈服点。

9.8.7 实腹式檩条在风吸力作用下受压下翼缘的稳定性计算

1. 风荷载标准值 w_k

按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 式 (7.1.1-2)

$$w_k = \beta_{gz}\mu_s\mu_z w_0 \tag{9-51}$$

式中 β_{gz}——高度 z 处的阵风系数；

μ_s——风荷载体型系数；

μ_z——风压高度变化系数；

w_0——基本风压 (kN/m^2)。

这里必须指出，"荷载规范" (GB 50009—2001) 与 (GBJ 9 -87) 有三点不同，一是明确了檩条、墙梁一类的围护构件应以阵风系数 β_{gz} 代替 (GBJ 9—87) 式 (6.1.1) 中的风阵系数 β_z；二是给出了屋面围护构件的局部风压体型系数；三是明确了建筑物内外表面应组合的不同体型系数，无疑更趋向科学合理。

例如，某房屋高 10m，基本风压 $w_0 = 0.5$kN/m^2，地面粗糙度类别为 B 类，试求该封闭式建筑屋面檩条的风荷载标准值 w_k。

式 (9-51) 中，按 "荷载规范" (GB 50009—2001) 表 7.5.1，得 $\beta_{gz} = 1.78$；按表 7.2.1，$\mu_z = 1.0$；按第 7.3.3 条得屋面周边檩条的 $\mu_s = -2.2 - 0.2 = -2.4$，于是 $w_k = 1.78 \times (-2.4) \times 0.5 = -2.14kN/m^2 \gg 0.5$kN/m^2，大大超出了过去的习惯取值，无法进行设计。

对此，中国建筑科学研究院建筑结构研究所规范室的意见是："对围护结构的计算，过去规范没有明确风荷载脉动部分的影响，这里确有不妥之处，尽管在以往设计的结构中，没有发现有普遍性的工程事故，但也不能不指出结构局部可靠性有偏低的可能。现行规范提供的阵风系数主要是对高层建筑的玻璃幕墙结构参考国外规范而加以规定的，但低矮房屋是否合适，仍需通过今后的设计和科研实践给以完善。《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS102 [5] 提供的风荷载计算，是根据美国有关设计手册中的试验资料确定，更能符合实际，不妨按此参考执行"。

2003 年的《全国民用建筑工程设计技术措施》已明确规定，在计算围护结构时风荷载标准值可按 [5] CECS102 取用，即

$$w_k = \mu_s\mu_z w_0 \tag{9-52}$$

式中 w_0——基本风压，按 "荷载规范" (GB 50009—2001) 的规定乘以 1.05 采用；

μ_z——风压高度变化系数，按 "荷载规范" (GB 50009—2001) 采用，但当高度小

于10m时，应按10m高度处的数值采用；

μ_s——风荷载体型系数，考虑内、外风压最大值的组合，且含阵风系数。以封闭建筑边缘带为例：

$A \leqslant 6.3$　　$\mu_s = -1.7$

$6.3 < A < 10$　　$\mu_s = +1.51\log A - 2.9$

$A \geqslant 10$　　$\mu_s = -1.4$

设檩条跨度 $l_0 = 6\text{m}$，檩距 $a = 1.5\text{m}$，基本风压 $w_0 = 0.5\text{kN/m}^2$，$\mu_z = 1.0$，则 $\mu_s = +1.51\log(1.5\times 6) - 2.9 = -1.47$，$w_k = \mu_s\mu_z w_0 = -1.47\times 1.0\times 0.5\times 1.05 = -0.77\text{kN/m}^2$，远小于按“荷载规范”（GB 50009—2001）得出的 $w_k = -2.14\text{kN/m}^2$，而比过去惯用的 w_k 稍大，比较符合实际。本手册在计算檩条的风荷载标准值时采纳了“门式刚架技术规程”（CECS102:2002）附录A表A.0.2-2檩条的风荷载体型系数。

2. 实腹式檩条在风吸力组合作用下下翼缘受压时的稳定计算

（1）拉条

1）不少设计人员，包括“门式刚架规程”CECS102:2002都认为只要檩条的下翼缘在风吸力组合作用下受压时，拉条宜在檩条的上、下翼缘附近适当布置。双层拉条不仅施工麻烦，且与习惯做法不符，应尽量避免为妥。有些国家有用斜拉条的，即从檐口檩条开始，拉条从第一根檩条的下翼缘斜拉向第二根檩条的上翼缘，然后从第二根檩条的下翼缘再拉至第三根檩条的上翼缘，依次顺序进行。这种做法国内应用并不多。

2）另一种观点，按习惯做法不设双层拉条，仅在檩条的上翼缘附近设置拉条。当檩条在风吸力组合作用下下翼缘受压时，可通过其稳定计算满足即可。此时檩条下翼缘侧向计算长度 l_y 取其计算跨度，即 $l_y = l_0$。本手册及国家建筑标准图集01SG515和02SG518—1均采用这种方法，这在理论上是有依据的。

（2）檩条下翼缘受压时的稳定计算

1）按《钢结构设计规范》GB 50017—2003［1］和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018—2002［2］附录进行计算。两者均是多年来沿用的成熟计算方法。

2）按［5］附录E计算。在该规程条文说明附录E的计算例题中，檩条在风吸力作用下的稳定为

$$\sigma = \frac{M_x}{\chi W_{ex}} + \frac{M'_y}{W_{fly}} = \frac{6.66\times 10^6}{0.713\times 46471} + \frac{17500}{5853} = 201.00 + 2.99$$

$$= 203.99\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

在编制本手册时，曾将［5］与［2］的计算进行了比较，发现，从前者所举的例子用后者的公式（8.1.1-2）进行验算反而得出后者比前者有利的反常现象，且前者既麻烦，受拉翼缘的约束效应也没有反映出来。

为此建议还是按照《钢结构设计规范》GB 50018—2002［2］计算为妥。

具体计算如下例。

【例】　以［5］附录E的檩条计算为例，柱距7.5m，边缘带檩距1.5m，钢材Q235，檩条采用斜卷边Z形冷弯型钢 $Z180\times 70\times 20\times 2.5$，钢材强度 205N/mm^2，在檩条上下翼缘附近设两根拉条，屋面双坡，坡度 $i = 1/15$，$\alpha = 3.8°$，由风压及自重计算得檩条线荷载为 1.023kN/m。

【解】 Z180×70×20×2.5 的截面特性为

$A = 868\text{mm}^2$ $I_y = 41.2 \times 10^4\text{mm}^4$ $i_y = 21.8\text{mm}$

$W_x = 46471\text{mm}^3$ $h = 180\text{mm}$ $\lambda_y = 2500/21.8 = 115$

$W_{y2} = 13923\text{mm}^3$ $I_w = 5654 \times 10^6\text{mm}^6$ $I_t = 1807\text{mm}^4$ $\theta = 22.20°$

1）首先对该檩条进行截面强度验算如下：

取恒载为 0.2kN/m²，活载为 0.5kN/m²，则檩条线荷载为

$$q = (1.2 \times 0.2 + 1.4 \times 0.5) \times 1.5 = 1.41\text{kN/m}$$

$$M_x = \frac{1}{8} q_y l_0^2 = \frac{1}{8} q\cos(\theta - \alpha) l_0^2 = \frac{1}{8} \times 1.41 \times \cos(22.2 - 3.8) \times 7.5^2 = 9.408\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = \frac{1}{40} q_x l_y^2 = \frac{1}{40} q\sin(\theta - \alpha) l_y^2 = \frac{1}{40} \times 1.41 \times \sin(22.2 - 3.8) \times 2.5^2 = 0.069\text{kN} \cdot \text{m}$$

为精确计算，进行截面的有效换算，得有效截面模量与毛截面模量的关系大约为 $W_{ex} = 0.89W_x$，$W_{ey} = 0.93W_y$，可近似取为 0.90，截面应力为

$$\sigma_2 = \frac{M_x}{W_{enx2}} - \frac{M_y}{W_{eny2}} = \frac{9.408 \times 10^6}{0.9 \times 46471} - \frac{0.069 \times 10^6}{0.9 \times 13923} = 220\text{N/mm}^2 > 205\text{N/mm}^2$$

可见，该例题 Z180×70×20×2.5，$l = 7.5\text{m}$ 在恒＋活作用下截面强度不足。

2）刚度验算：

$I_{x1} = 438.835\text{cm}^4$，按荷载标准值计算，得

$$v = \frac{5}{384} \frac{q\cos\alpha l_0^4}{EI_{x1}} = \frac{5}{384} \times \frac{(0.2 + 0.5) \times 1.5\cos 3.8° \times 7500^4}{2.06 \times 10^5 \times 438.835 \times 10^4} = 48\text{mm} = \frac{l}{156},$$

小于 $\frac{l}{150}$，但大于 $\frac{l}{200}$。

3）稳定验算

$$\varphi_{bx} = (4320Ah/\lambda_y^2 W_x)\xi_1(\sqrt{\eta^2 + \zeta} + \eta) \cdot (235/f_y)$$

$$\eta = 2\xi_2 e_a/h$$

$$\zeta = (4I_w/h^2 I_y) + 0.156(I_t/I_y)(l_0/h)^2$$

$$\xi_1 = 1.37, \xi_2 = 0.06, e_a = 70/2 = 35$$

$$\eta = 2 \times 0.06 \times 35/180 = 0.023$$

$$\zeta = 4 \times 5654 \times 10^6/(180^2 \times 41.2 \times 10^4) + 0.156 \times 1807(0.33 \times 7500/180)^2/41.2 \times 10^4$$
$$= 1.69 + 0.13 = 1.82$$

$$\varphi_{bx} = 4320 \times 868 \times 180 \times 1.37(\sqrt{0.023^2 + 1.82} + 0.023) \times 1/115^2 \times 46471$$
$$= 1.1 \times 1.37 \times (1.35 + 0.023) = 2.07,$$

$$\varphi'_{bx} = 1.091 - 0.274/2.07 = 0.96,$$

$$M_x = ql_0^2\cos\theta/8 = 1.023 \times 7500^2 \times 0.926/8 = 6.66\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = ql_y^2\sin\theta/40 = 1.023 \times 2500^2 \times 0.378/40 = 0.06\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_2 = M_x/(\varphi'_{bx} \cdot W_{x2}) - M_y/W_{y2} = 6.66 \times 10^6/(0.96 \times 46471) - 0.06 \times 10^6/13923$$
$$= 149 - 4 = 145\text{N/mm}^2 < 203.99\text{N/mm}^2(\text{CECS102：2002 页 115})$$

注：以上稳定计算中未考虑有效截面模量，如近似取 0.90 的系数进行有效换算，得应力为 $\sigma_2 =$

161N/mm²，同样小于按［5］附录E计算的结果，由此得出，按［5］附录E计算是没有必要的。

3. 结论

（1）在计算檩条、墙梁一类的围护构件时，风荷载标准值 w_k 按《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS102:2002 的规定计算更能符合实际。

（2）为避免造成施工中的不便，应尽量不采用双层拉条。当檩条在风吸力组合作用下下翼缘受压时，可通过稳定计算解决。

（3）在风吸力作用下檩条的稳定性可采用“钢结构设计规范”GB 50017—2003 和“冷弯薄壁型钢设计规范”GB 50018—2002 中的公式验算。

9.8.8　关于构件挠度和长细比值的规定

构件容许挠度见表 9-9，构件容许长细比见表 9-10。

构件容许挠度　　表 9-9

构件	［1］［2］		［5］
檩条	压型钢板	$L/200$	$L/150$
	瓦楞铁屋面	$L/150$	
墙梁	压型钢板墙面	$L/150$	$L/100$

构件容许长细比　　表 9-10

构件	［1］［2］	［5］
主要构件	150	180
其他构件及支撑	200	220

1. 檩条容许挠度

一般檩条由 $l_0/200$ 容许挠度控制时，强度和挠度基本匹配，亦即檩条最大应力在达到钢材强度设计值时，挠度多数不控制。而跨度较大的檩条强度和挠度可能均接近设计容许值，此时钢材基本发挥了潜力，同时从感观上人们对 $l_0/200$ 的挠度比较容易接受，而放宽到 $l_0/150$，从感观上难以接受。例如 9m 跨檩条，若挠度容许值取 $l_0/150$，绝对值为 60mm，下垂显著。编制 2002 年《全国民用建筑工程设计技术措施—结构》时一致认为容许挠度虽为非强制性条文，但从使用现实，还是按“钢结构设计规范”GB 50017 和“冷弯薄壁型钢设计规范”GB 50018 较合适，至于瓦楞铁屋面仍可按过去的经验取 $l_0/150$。

2. 墙梁容许挠度

由于墙梁的水平挠度主要由瞬时风荷载引起的，故应与檩条有所区别，即使放宽到 $l_0/150$，也不至于引起不良的感观。至于取 $l_0/100$ 的限值，在设计上是无意义的，即多数墙梁按强度设计时，在其使用极限状态下是不可能达到 $l_0/100$ 限值的，同时达到 $l_0/100$ 的构件从结构试验上多数认为已接近承载能力极限状态，另外在感观上也是可怕的。

3. 构件的容许长细比

（1）主要受压构件

历次规范都规定主要受压构件的容许长细比为 150，例如对 Q235 钢材，如为 b 类截面，$\varphi=0.308$，如果截面不变，将长细比放宽到 180，则 $\varphi=0.225$，则两者承载力相应降低 27%，如截面再减小和遇到意外偏心，则承载力降低更多。这对于长细比控制的构件，因长细比的放宽而节约的钢材远远小于其承载力和结构安全储备的降低，因此本手册即使对于门式刚架的构件也采用“钢结构设计手册”GB 50017 和“冷弯薄壁型钢设计规范”GB 50018 的容许长细比 150。

（2）支撑和其他构件

对于受压支撑构件，其受力难以分析，故一般按长细比确定断面尺寸。按传统取 200

是可行的，若再放宽到220，难以保证安全。例如，刚架间距6m，一般用∟70×5的十字连接等边角钢，i_x=27.3mm，λ_x=0.9×6000/27.3=198≈200，若放宽至220，i_x=0.9×6000/220=24.5mm，可改用∟63×5的十字连接双角钢。两者的稳定承载力分别为

∟70×5的十字连接等边角钢，$N_1=\varphi Af=0.19\times1375\times215=56$kN，

∟63×5的十字连接等边角钢，$N_2=\varphi Af=0.156\times1229\times215=41$kN。

后者承载力为前者的73%，而钢材则节约11%，小于承载力降低的27%。得不偿失。

9.8.9 关于墙梁在墙面风吸力下的稳定计算

不少文献包括［5］均指出对于多数外侧设有压型钢板或夹芯钢板的墙梁均应计算墙梁受压内翼缘的稳定。但不少设计（包括国家建筑标准设计图集02SG518-1）均未计算其受压内翼缘的稳定，影响安全。这里要讨论两个问题：

1. 墙梁拉条的位置

这里所谓拉条的位置是指靠近外翼缘（外侧墙）还是靠近内翼缘。

2. 墙梁上的斜拉条仅在墙顶部墙梁处设置，还是在墙顶部和底部墙梁处同时设置，并在设置斜拉条的墙梁开间内应与檐檩一样放置直撑杆。

以上两个问题往往被人们疏忽了。

（1）关于拉条的位置

1）对于悬挂的墙板，本手册认为应里外同时设双侧拉条，外侧拉条的作用作为墙板在竖向自重下的墙梁竖向支点，里侧拉条可作为墙梁在水平风荷载下受压内翼缘的侧向支点，以提高墙梁在风荷载作用下的整体稳定性。

2）目前多数采用自承重落地轻型墙，墙自重直接传至地基上，墙梁除本身自重外可按单向受弯构件计算，故只需在里侧设置单侧拉条。必须指出，当遇门窗洞口处，门窗顶上的墙梁仍按双向受弯构件计算，其截面应设计为刚性的封闭截面。

（2）拉条的传力或固定点

由于里侧拉条可作为墙梁向上或向下的侧向支承点，故应在墙的顶部和底部墙梁处同时设置斜拉条和直撑杆，而外侧拉条可按传统仅在顶部设置斜拉条，不需在墙下侧设置斜拉条和上下直撑，见图9-39。图中所有斜拉条均固定于柱上下端。当墙梁在里侧按构造措施设置拉条后，再考虑在风引力下外侧墙板对墙梁受拉翼缘的约束作用后，其稳定系数$\varphi'_b>0.9$，接近于1.0，在保证其强度的条件下，不需再验算墙梁的整体稳定性。反之，如里侧不设拉条，墙梁在风吸力作用下其受压翼缘的$l_y=l_0$，其稳定将成为控制截面的唯一因素，按此设计是极不经济的和不合理的。

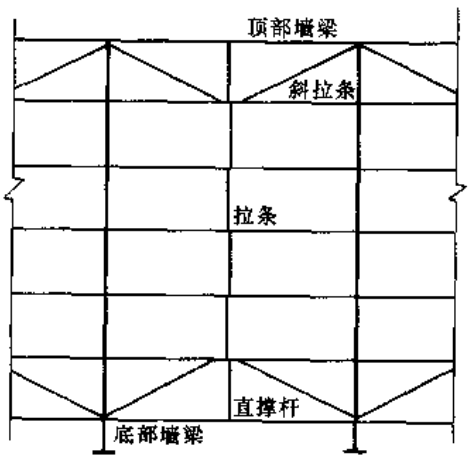


图9-39 墙梁拉条布置图

10 排 架 柱

10.1 设计的一般要求

10.1.1 柱的类型

1. 柱按结构形式可分为以下几种：

(1) 等截面柱：沿整个柱高度截面不变的柱如图 10-1 所示。一般适用于无吊车或吊车起重量较小的轻型厂房；

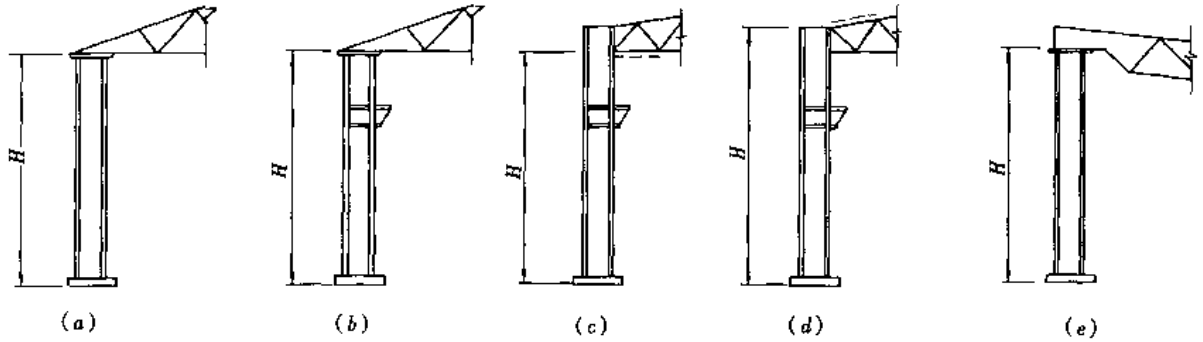


图 10-1 等截面柱

(2) 阶形柱：沿柱高度截面变化的柱，通常采用的有单阶柱和双阶柱两种，如图 10-2 所示。阶形柱在有吊车的钢结构厂房中被广泛采用；

(3) 分离式柱：由两根独立柱肢，分别支承屋盖横梁和吊车梁，并由水平连接钢板沿

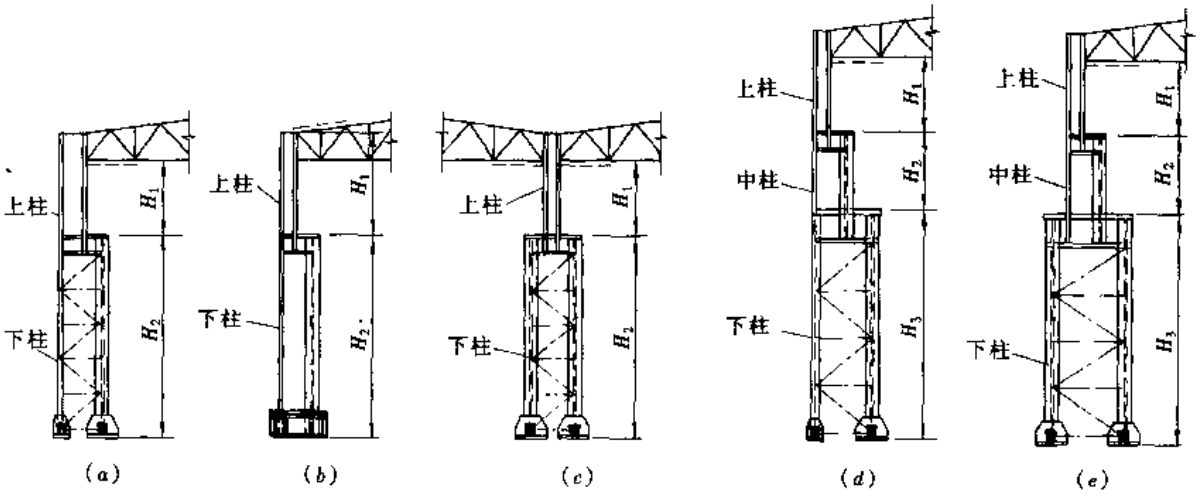


图 10-2 阶形柱

(a)、(b)、(c) 为单阶柱；(d)、(e) 为双阶柱

两柱肢高将两者连接成整体的柱，如图 10-3 所示。分离式柱构造比较简单，制作安装方便，但用钢量比阶形柱多，厂房排架刚度比阶形柱要小，一般在厂房预留扩建时或厂房边列柱外侧设有露天吊车柱时，采用这种柱；

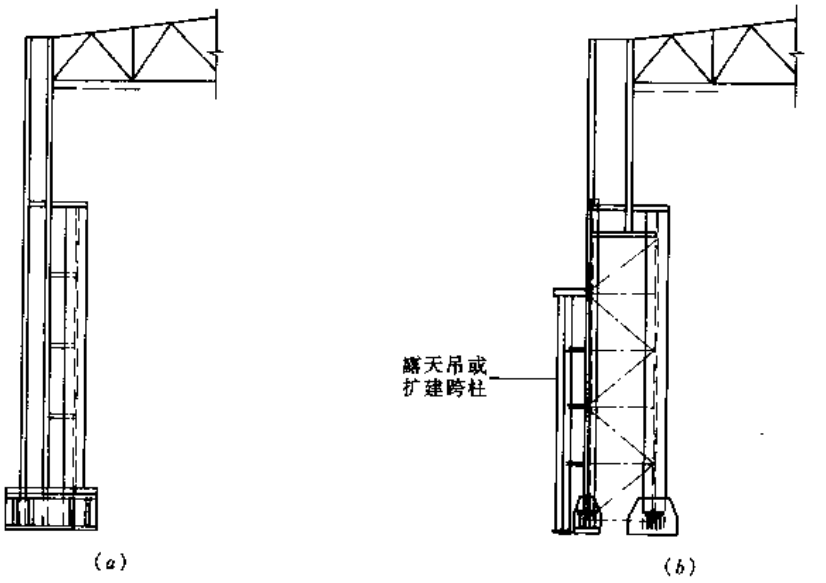


图 10-3 分离式柱

(4) 组合柱：钢与混凝土组成的柱，一般都是下柱采用钢筋混凝土结构，上柱采用钢结构，如图 10-4 所示。目前国内一些重型厂房中有采用这类柱，以节省钢材并可减轻柱本身的重量。随着我国钢材产量和品种规格的不断增加，以及建筑材料的革新，特别是轻型屋面材料的问世，这种组合柱将会逐步由全钢结构柱所代替。

10.1.2 柱的截面形式

1. 排架柱的结构形式有二种，即：实腹式和格构式。实腹式柱的截面形式如图 10-5 所示，格构式柱的截面形式如图 10-6 所示。

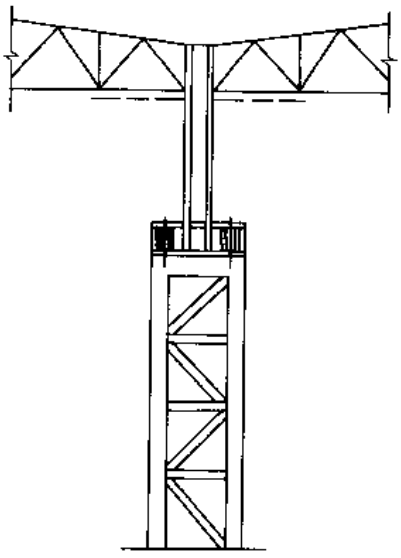


图 10-4 组合柱

2. 选择柱的截面形式时，应根据柱的离度及其所承受的荷载和所需截面的大小，选择构造简单，便于制作和安装的形式。等截面柱及阶形柱的上柱，由于受力较小，一般宜采用截面较小的实腹式截面，常用的截面形式为对称焊接工字形，如图 10-5 (a) 所示。自从我国自行生产宽翼缘 H 型钢后，这类焊接工字形（截面）可以直接采用宽翼缘 H 型钢代替，如图 10-5 (b) 所示。宽翼缘 H 型钢的翼缘宽度最宽可以做到比截面高度还要大的尺寸，完全可适用于等截面实腹式柱和阶形柱的上柱。这样可以大大减少焊接和加工的工作量。等截面实腹柱的截面，也可选择方形或长方形钢管截面，如图 10-5 (e) ~ (g)，前两种为冷弯焊接钢管，后一种为钢板焊接钢管。冷弯焊接方管在国外，特别是美国和加拿大，被普遍用作大型超市和轻型单层厂房的柱。阶形柱的下段柱，除承受上柱的荷载外，还需承受吊车荷

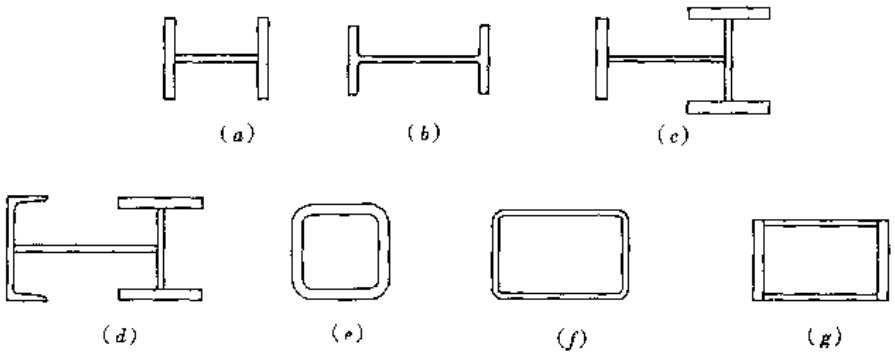


图 10-5　实腹式柱的截面形式

载。当下柱的截面高度小于或等于 1000mm 时，可采用实腹式柱，其截面如图 10-5（c）或（d）所示，当下柱的截面高度超过 1000mm 时，一般均采用格构式柱，其常用的截面形式如图 10-6 所示，其中图（a）、（c）、（d）和（e）截面用于边列柱，图（b）和（f）截面用于中列柱。所有工字形截面都可采用宽翼缘 H 型钢，除非截面高度较大，我国无此产品规格，此时，可采用三块钢板焊接的工字形截面。

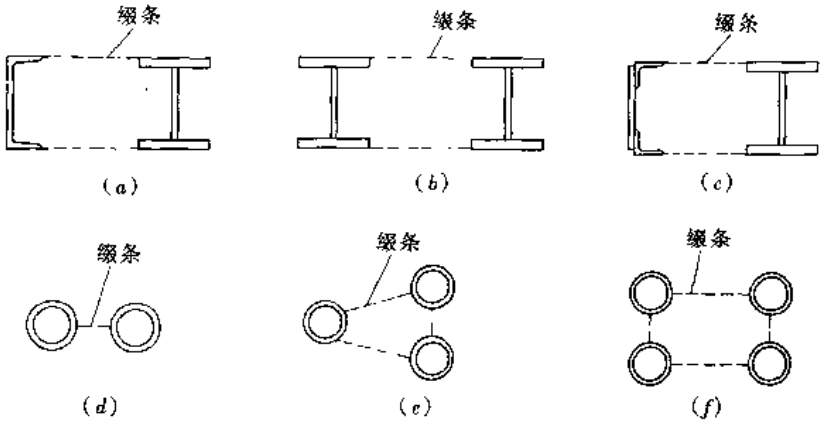


图 10-6　格构式柱的截面形式

3. 双阶柱的中段柱，除承受上柱的荷载外，还承受上层吊车荷载，同时要在腹板上开设通行人孔。为了简化肩梁构造和增大柱的刚度，建议采用如图 10-5（c）、（d）所示的实腹式截面形式。

10.1.3　柱肩梁和支承牛腿的形式

1. 柱肩梁位于上柱和下柱交接处，用以将上柱的内力传递到下柱并兼作吊车梁的支座。因此，肩梁必须具有足够的刚度和强度，以保证阶形柱的整体工作。

2. 柱的肩梁构造形式有两种，即：单壁式肩梁，如图 10-7 所示；和双壁式肩梁，如图 10-8 所示。单壁式肩梁制作和装配要比双壁式肩梁方便得多，用料也少，普遍应用于实腹式和格构式阶形柱中。双壁式肩梁的上下和左右两侧均有盖板封闭，形成箱形结构（图 10-8）。为便于在此箱形体内施焊，必须要考虑有必要的施焊空间和开设通风洞口。由于双壁式肩梁施焊较困难，用钢量又较多，只有当采用单壁式肩梁的强度不能满足要求时才采用。

3. 吊车起重量较小的轻型厂房，可直接在等截面柱上设置悬臂牛腿来支承吊车梁，

牛腿的形式如图 10-9 所示。

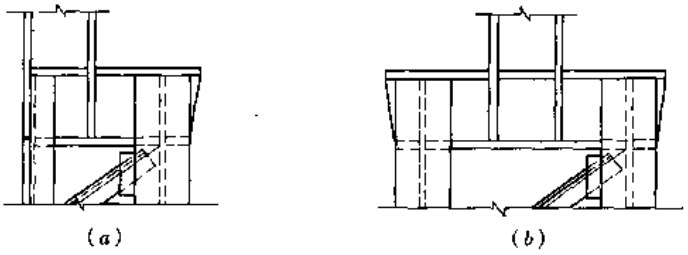


图 10-7 单壁式肩梁

(a) 边柱；(b) 中柱

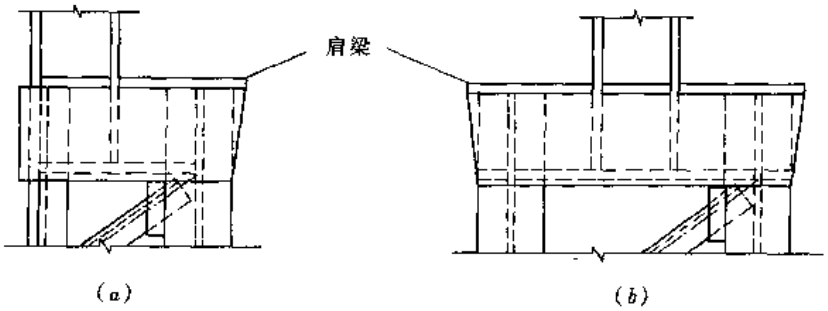


图 10-8 双壁式肩梁

(a) 边柱；(b) 中柱

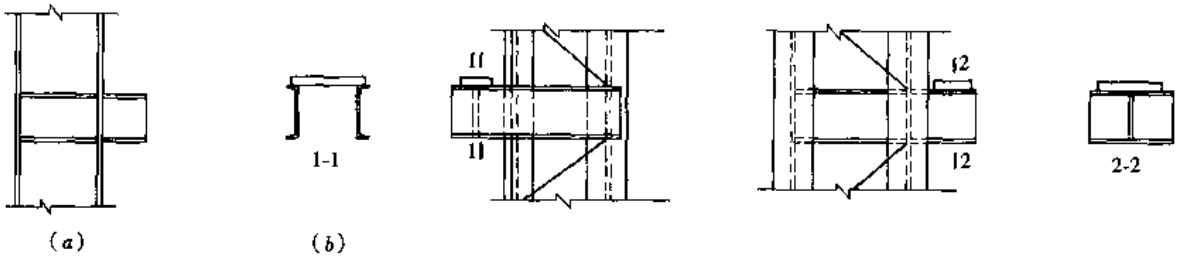


图 10-9 支承吊车梁的悬挑牛腿

(a) 用于实腹式柱；(b) 用于格构式柱

10.1.4 柱脚形式及安装要求

1. 柱脚按结构内力的边界条件划分，可分为铰接柱脚和刚性固定柱脚两大类。铰接柱脚仅传递竖向荷载和水平荷载，计算和构造均较简单，这里不再详述。刚性固定柱脚；除了传递竖向和水平荷载外，还要传递弯矩，计算和构造较为复杂，在实际工程中被普遍采用。刚性固定柱脚就其构造形式可分为三种形式：露出式柱脚如图 10-10 (a)、(b) 所示，埋入式或插入式柱脚如图 10-10 (c)、(d) 所示，以及外包式柱脚，如图 10-10 (e) 所示。若按柱脚的结构形式则可分为整体式柱脚和分离式柱脚，如图 10-10 所示。

2. 露出式柱脚和埋入式（插入式）柱脚均可采用整体式柱脚和分离式柱脚两种。整体式柱脚一般只用于实腹式柱和截面较大的格构式柱。

3. 钢柱的安装一般采用三种方法，即采用钢垫板方案、混凝土垫块方案和调平螺帽与调平钢板方案。采用钢垫板方案（图 10-11）时，一般在柱脚底板下四处设置钢垫板，每处钢垫板不宜超过三层，柱脚底板与基础顶面之间留出 40～60mm 的灌浆层。钢柱安装校正后，先将柱脚底板与钢垫板以及垫板之间均以点焊固定，再灌注混凝土或水泥砂浆。

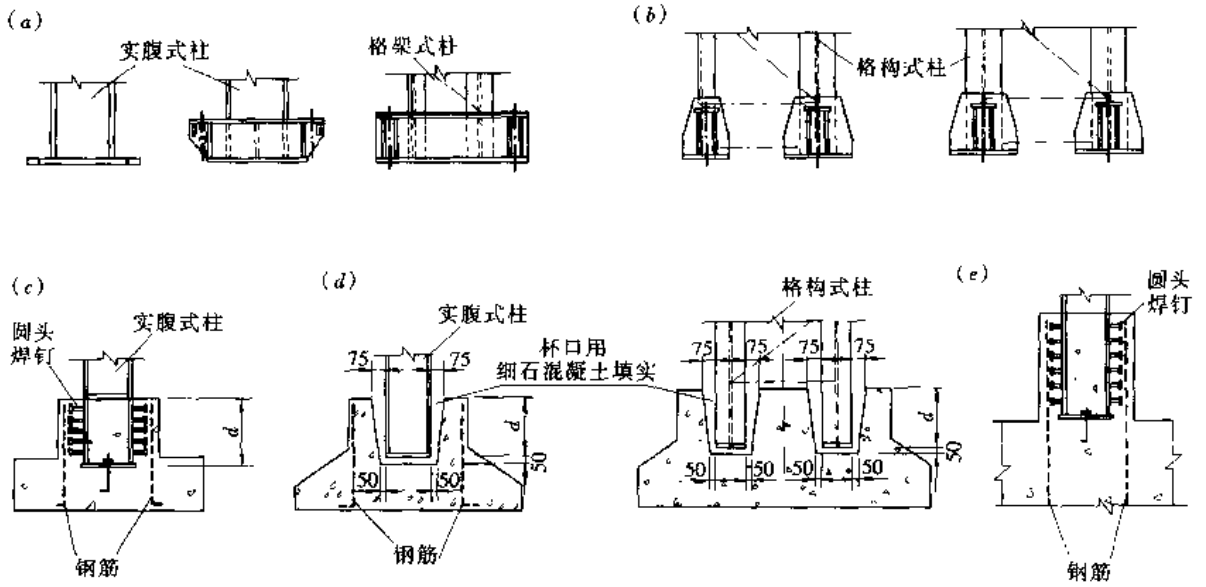


图 10-10　柱脚示意图

(a) 整体式柱脚；(b) 分离式柱脚；(c) 埋入式柱脚；(d) 插入式柱脚；(e) 外包式柱脚

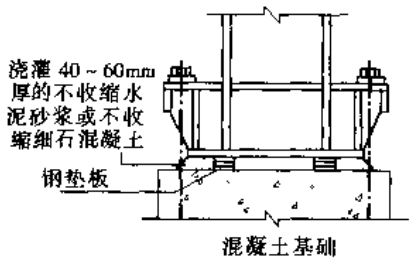


图 10-11　采用钢垫板的柱脚安装方案

对于重大型钢柱宜采用钢筋混凝土预制垫块的方案（图 10-12）此时，其混凝土垫块上表面必须保持平整并用水准仪找平至设计标高，然后在填块四周用高标号细石混凝土固定，待达到混凝土强度后再吊装。

对于一般钢柱而言，特别是较轻型的钢柱可采用调平螺帽的方案，即在每个柱的柱脚锚栓上配置双螺帽，其中一个螺帽设置在柱底板的下面，用来调正柱底板的标高，如图 10-13（a）所示。若柱本身重量较重，可采用调正螺帽上放置一块平面尺寸与柱底板相同、厚度为 3mm 的调平钢板的方案（图 10-13b），先用调平螺帽将调平钢板校正到设计标高，然后再吊装柱子，这种方法在美国和加拿大已被广泛采用。

完成钢柱安装工序后，将上部结构全部安装校正完毕，再将钢柱底面与基础顶面间的空隙用不收缩的高强度等级的水泥砂浆或细石混凝土浇灌密实。一般柱脚底板的底面与基础顶面间的空隙小于 50mm 时，可采用水泥砂浆浇灌，超过 50mm 则应采用细石混凝土浇灌。最后将柱

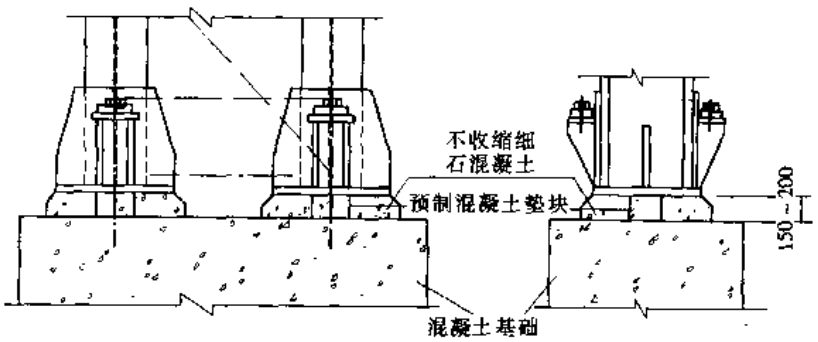


图 10-12　采用混凝土垫块的柱脚安装方案

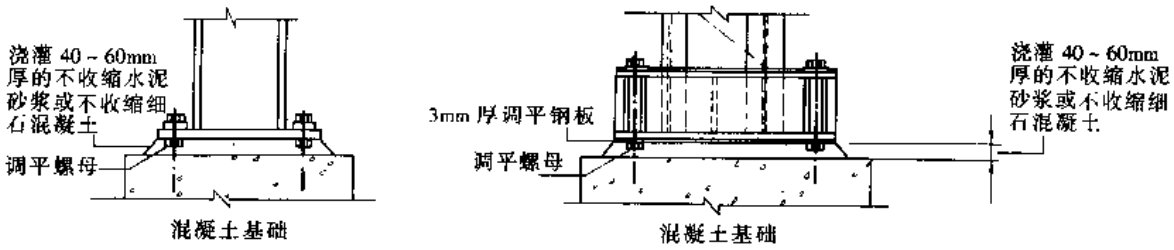


图 10-13 采用调平螺帽和调平钢板的柱脚安装方案

子的柱脚锚栓螺母拧紧，并将螺母与垫板以及垫板与柱脚锚栓支承托座焊牢。

10.2 柱的计算及构造

10.2.1 柱的计算长度及容许长细比

1. 单层房屋等截面柱在排架平面内的计算长度，按下式计算（一般按有侧移排架考虑）：

$$H_0 = \mu H \tag{10-1}$$

式中 H——柱的高度，如图 10-1 所示；当柱顶与屋架铰接时，取柱脚底面至柱顶面的高度，如图 10-1（a）、（b）、（d）、（e）所示；当柱顶与屋架刚接时，可取柱脚底面至屋架下弦重心线之间的高度，如图 10-1（c）所示；

μ——柱的计算长度系数，根据排架横梁（屋架）线刚度 I_0/L 和柱线刚度 I/H 之比值 K_0。$\left(\text{即 } K_0 = \dfrac{I_0 H}{IL}\right)$ 按表 10-1 确定。其中 I_0 为排架横梁（屋架）的惯性矩，对桁架式屋架，应将屋架跨中最大截面的惯性矩按屋架上弦不同坡度乘以下列折减系数：

当屋架上弦坡度为 1/8～1/10　取　0.65～0.7；

1/12～1/15　取　0.75～0.8；

0　取　0.9。

I 为柱截面惯性矩，对格构式柱应乘以折减系数 0.9，L 为屋架跨度。

有侧移排架等截面柱的计算长度系数 μ　　表 10-1

柱与基础连接方式 \ K_0	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	≥10
刚性固定	2.03	1.83	1.70	1.52	1.42	1.35	1.30	1.17	1.10	1.07	1.06	1.05	1.03
铰　接	∞	6.02	4.46	3.42	3.01	2.78	2.64	2.33	2.17	2.11	2.08	2.07	2.03

注：1. 当屋架（横梁）的远端为铰接时，应将横梁或屋架的线刚度乘以 0.5；当屋架或横梁远端为嵌固时，则应乘以 2/3。

2. 当屋架（横梁）两端与柱铰接时，取横梁线刚度为零，也即 $K_0 = 0$。

3. 当与柱刚性连接的横梁所受轴心压力 N_b 较大时，横梁线刚度应乘以折减系数 α_N：

横梁远端与柱刚接时　$\alpha_N = 1 - \dfrac{N_b}{4N_{Eb}}$

横梁远端与柱铰接时　$\alpha_N = 1 - \dfrac{N_b}{N_{Eb}}$

横梁远端与柱嵌固时　$\alpha_N = 1 - \dfrac{N_b}{2N_{Eb}}$

$N_{Eb} = \pi^2 EI_b/L^2$，其中 I_b 为横梁截面惯性矩，E 为钢材的弹性模量，L 为横梁的跨度。

2. 对于排架下端刚性固定于基础上的单阶柱，其上段柱和下段柱在排架平面内的计算长度应各等于该段柱的高度乘以相应的计算长度系数 μ_1、μ_2，即：

上段柱　　$H_{01} = \mu_1 H_1$　　(10-2)

下段柱　　$H_{02} = \mu_2 H_2$　　(10-3)

式中　H_1——上段柱高度：当柱与屋架（横梁）铰接时，取肩梁顶面至柱顶面高度，如图 10-2（b）所示。当柱与屋架刚接时，取肩梁顶面至屋架下弦杆件重心线之间的柱高度如图 10-2（a）、（c）所示；

H_2——下段柱高度：取柱脚底面至肩梁顶面之间的柱高度，如图 10-2（a）、（b）、（c）所示；

μ_1——上段柱的计算长度系数，应按下式计算：

$$\mu_1 = \frac{\mu_2}{\eta_1} \qquad (10\text{-}4)$$

μ_2——下段柱的计算长度系数：当柱上端与屋架铰接时，根据上段柱与下段柱的线刚度比 $K_1 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2}{H_1}$ 和参数 $\eta_1 = \frac{H_1}{H_2}\sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}}$，按表 15-3 查得的数值乘以表 10-2 的折减系数；当柱上端与屋架刚接时，根据上段柱与下段柱的线刚度比和系数 η_1 按表 15-4 查得的数值乘以表 10-2 的折减系数。其中 I_1 和 I_2 分别为上段柱和下段柱的截面惯性矩，H_1 和 H_2 分别为上段柱和下段柱的高度，N_1 和 N_2 分别为上段柱和下段柱的最大轴心力，按最大轴心力的荷载组合取用。

单层厂房阶形柱计算长度的折减系数　　**表 10-2**

厂房类型				折减系数
单跨或多跨	纵向温度区段内一个柱列的柱子数	屋面情况	厂房两侧是否有通长的屋盖纵向水平支撑	
单跨	等于或少于6个	—	—	0.9
	多于6个	非大型钢筋混凝土屋面板的屋面	无纵向水平支撑	
			有纵向水平支撑	0.8
		大型钢筋混凝土屋面板的屋面	—	
多跨	—	非大型钢筋混凝土屋面板的屋面	无纵向水平支撑	
			有纵向水平支撑	0.7
		大型钢筋混凝土屋面板的屋面	—	

注：有横梁的露天结构（如落锤车间等），其折减系数可采用 0.9。

3. 对于下端刚性固定于基础上的单层厂房双阶柱，其上段、中段、下段柱在排架平面内的计算长度可按下列公式计算：

上段柱　　$H_{01} = \mu_1 H_1$　　(10-5)

中段柱 $$H_{02} = \mu_2 H_2 \tag{10-6}$$

下段柱 $$H_{03} = \mu_3 H_3 \tag{10-7}$$

式中 H_1——上段柱的高度，按 10.2.1（2）款的要求确定；

H_2——中段柱的高度，取下段柱肩梁顶面至中段柱肩梁顶面的柱高度，如图 10-2（d）、（e）所示；

H_3——下段柱的高度，取柱脚底面至下段柱肩梁顶面的柱高度，如图 10-2（d），（e）所示；

μ_1——上段柱计算长度系数，应按下式确定：$\mu_1 = \dfrac{\mu_3}{\eta_1}$

μ_2——中段柱的计算长度系数，应按下式确定；$\mu_2 = \dfrac{\mu_3}{\eta_2}$

μ_3——下段柱的计算长度系数；当柱上端与屋架铰接时，根据上段柱与下段柱的线刚度比 $K_1 = \dfrac{I_1}{I_3} \cdot \dfrac{H_3}{H_1}$、中段柱与下段柱的线刚度比 $K_2 = \dfrac{I_2}{I_3} \cdot \dfrac{H_3}{H_2}$和参数 $\eta_1 = \dfrac{H_1}{H_3}\sqrt{\dfrac{N_1}{N_3} \cdot \dfrac{I_3}{I_1}}$、$\eta_2 = \dfrac{H_2}{H_3}\sqrt{\dfrac{N_2}{N_3} \cdot \dfrac{I_3}{I_2}}$按表 15-5 确定；当柱上端与屋架刚接时，根据 K_1、K_2 及 η_1、η_2 按表 15-6 确定，其中 N_1、N_2、N_3 分别为上柱、中柱、下柱的轴心力，可按最大轴心力的荷载组合取用，I_1、I_2、I_3 分别为上柱、中柱、下柱的截面惯性矩，当为格构式柱时，其计算的截面惯性矩应乘以折减系数 0.9。

4. 单层厂房排架柱在排架平面外的计算长度，应取阻止排架平面外位移的侧向支承点（如托架支座、吊车梁和辅助桁架支座及柱间支撑节点等）之间的距离。

（1）对于下端刚性固定于基础上的等截面柱，其排架平面外的计算长度取柱脚底面至屋盖纵向支撑或纵向构件支承节点处的柱高度，当设有吊车梁及柱间支撑的等截面排架柱，其排架平面外的计算长度取柱脚底面至吊车梁底面之间的柱高度。

（2）阶形柱在排架平面外的计算长度：当设有吊车梁和柱间支撑而无其他纵向支承构件时，上段柱的计算长度可取吊车梁制动结构与柱连接节点（也即吊车梁的顶面，对于双阶柱为上层吊车顶面处）至屋盖纵向水平支撑节点处或托架支座处的柱高度，双阶柱的中段柱在排架平面外的计算长度，可取下层吊车梁顶面至上部肩梁顶面之间的柱高度。

（3）在等截面柱及阶形柱的各段柱中间，如设有其他纵向水平构件，并能承受按下式计算的轴向压力 F_{bL}时，则该段柱在排架平面外的计算长度，取各纵向构件与柱连接节点之间的距离。

$$F_{bL} = \frac{N}{60} \tag{10-8}$$

5. 分离式柱的计算长度，如图 10-3（a）中，屋盖肢与吊车肢各为独立柱肢，中间用水平钢板连接在一起，此时屋盖肢在排架平面内的计算长度可按第 10.2.1 条（1）款关于等截面柱计算长度的规定确定，排架平面外取侧向支承点之间的距高。吊车肢的计算长度，在排架平面内取水平（连接）钢板之间的距离，平面外取 $0.7H_2$（H_2 为吊车肢底板底面至吊车梁支座顶面之间柱的高度）。如图 10-3（b）中的分离式柱，排架柱的计算长度，可按第 10.2.1 条 2 和 4 款关于阶形柱的规定确定，分离的吊车肢的计算长度可按上

述图 10-3（a）中的吊车肢的规定确定。

6. 格构式柱的柱肢（图 10-14），在排架平面内的计算长度取水平缀条之间的距离。平面外的计算长度按第 10.2.1 条（4）款的规定确定。

7. 实腹式柱和格构式柱的细长比不得超过 150。

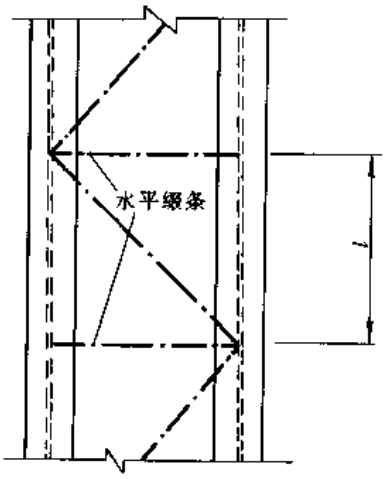


图 10-14　格构式柱示意图

10.2.2　柱截面尺寸的选择

选择柱的截面尺寸时，应满足下列要求：

1. 房屋刚度的要求，要按房屋的性质、跨数、柱距、高度、工业厂房的吊车起重量大小及工作制等因素确定柱的截面尺寸，以满足房屋的刚度要求；

2. 构造上的要求：对于工业厂房应满足吊车跨度和吊车边缘净空尺寸的要求，当上柱需设置通行人孔时，尚应满足通行人孔最小尺寸的要求。

柱截面尺寸可参考类似已建房屋的资料选择，也可参考表 10-3 选用。

10.2.3　柱截面计算及构造要求

1. 柱截面计算

（1）实腹式等截面排架柱，在一般情况下均系单向压弯构件，其弯矩作用在排架平面内。对于这类柱应进行截面强度计算、排架平面内和平面外的稳定计算。

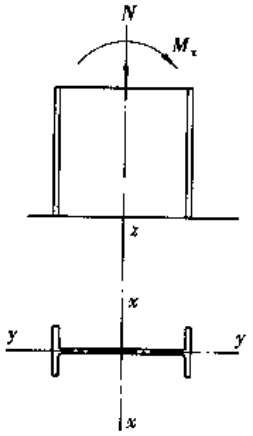


图 10-15　实腹式柱截面计算草图

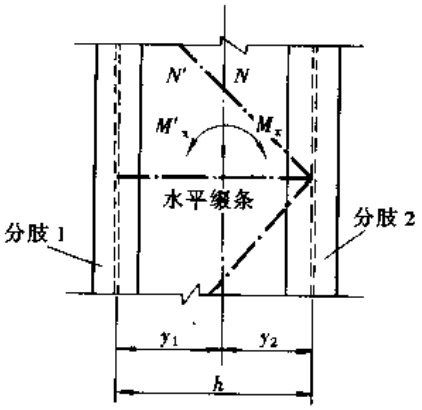


图 10-16　格构式柱分肢的内力计算草图

1）强度应按下式计算：（图 10-15）

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \leqslant f \tag{10-9}$$

式中　N——与弯矩 M_x 同一截面处的轴心压力；

M_x——所计算截面处，作用在排架平面内（绕 x—x 轴）的弯矩；

W_{nx}——对 x 轴的净截面模量；

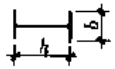
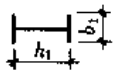
γ_x——与截面模量相应的截面塑性发展系数，按表 3-20 采用；

A_n——柱净截面面积；

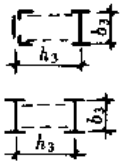
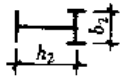
f——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。按表 2-3 采用。

柱截面尺寸选择参考表

表 10-3

柱类别	柱截面图示	柱高 (m)	无吊车房屋		轻型厂房 $Q \leqslant 20t$		中型厂房 $30t \leqslant Q \leqslant 75t$		重型厂房 $100t \leqslant Q \leqslant 150t$		重型厂房 $175t \leqslant Q \leqslant 250t$		特重型厂房 $Q > 250t$	
			α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
等截面柱	 $h = \alpha H$ $b = \beta h$ H—柱之全高	$H \leqslant 10$	$\frac{1}{15} \sim \frac{1}{20}$	0.45 ~ 1.0	$\frac{1}{13} \sim \frac{1}{16}$ $\left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{18}\right)$	0.30 ~ 1.0 (0.30 ~ 1.0)								
		$10 < H \leqslant 20$	$\frac{1}{18} \sim \frac{1}{25}$	0.45 ~ 1.0	$\frac{1}{15} \sim \frac{1}{18}$ $\left(\frac{1}{17} \sim \frac{1}{20}\right)$	0.35 ~ 1.0 (0.40 ~ 1.0)								
		$H > 20$	$\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30}$	0.40 ~ 1.0										
阶形(包括单阶和双阶)柱之上段柱	 $h_1 = \alpha H_1$ $b_1 = \beta h_1$ H_1—上段柱高	$H_1 \leqslant 5$			$\frac{1}{7} \sim \frac{1}{10}$ $\left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{11}\right)$	0.40 ~ 1.0 (0.45 ~ 1.0)	$\frac{1}{6} \sim \frac{1}{9}$ $\left(\frac{1}{7} \sim \frac{1}{10}\right)$	0.40 ~ 1.0 (0.45 ~ 1.0)						
		$5 < H_1 \leqslant 9$					$\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}$ $\left(\frac{1}{9} \sim \frac{1}{12}\right)$	0.40 ~ 1.0 (0.45 ~ 1.0)	$\frac{1}{7} \sim \frac{1}{10}$ $\left(\frac{1}{7} \sim \frac{1}{11}\right)$	0.40 ~ 1.0 (0.40 ~ 1.0)	$\frac{1}{6.5} \sim \frac{1}{9}$ $\left(\frac{1}{7} \sim \frac{1}{10}\right)$	0.40 ~ 1.0 (0.40 ~ 1.0)	$\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}$ $\left(\frac{1}{7} \sim \frac{1}{9}\right)$	(0.40 ~ 1.0) (0.40 ~ 1.0)
		$H_1 > 9$					$\frac{1}{9} \sim \frac{1}{12}$	0.40 ~ 1.0	$\frac{1}{8} \sim \frac{1}{11}$ $\left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}\right)$	0.35 ~ 1.0 (0.35 ~ 1.0)	$\frac{1}{7.5} \sim \frac{1}{11}$ $\left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}\right)$	0.40 ~ 1.0 (0.40 ~ 1.0)	$\frac{1}{7.5} \sim \frac{1}{10}$ $\left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{11}\right)$	(0.45 ~ 1.0) (0.45 ~ 1.0)

续表

柱类别	柱截面图示	柱高(m)	无吊车房屋		轻型厂房 $Q \leqslant 20t$		中型厂房 $30t \leqslant Q \leqslant 75t$		重型厂房 $100t \leqslant Q \leqslant 150t$		重型厂房 $175t \leqslant Q \leqslant 250t$		特重型厂房 $Q > 250t$	
			α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
阶形(包括单阶和双阶)柱之下段柱	 $h_3 = \alpha H$ $b_3 = \beta h_3$ H—柱之全高	$H \leqslant 18$			$\frac{1}{12} \sim \frac{1}{16}$	0.40～0.55	$\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ $\left(\frac{1}{11} \sim \frac{1}{15}\right)$	0.35～0.50 (0.35～0.50)						
		$18 < H \leqslant 26$					$\frac{1}{11} \sim \frac{1}{15}$	0.25～0.45	$\frac{1}{10} \sim \frac{1}{14}$ $\left(\frac{1}{11} \sim \frac{1}{15}\right)$	0.25～0.50 (0.30～0.50)	$\frac{1}{8.5} \sim \frac{1}{12}$ $\left(\frac{1}{9} \sim \frac{1}{14}\right)$	0.25～0.50 (0.30～0.50)	$\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}$	0.30～0.60
		$H > 26$					$\frac{1}{11} \sim \frac{1}{16}$	0.25～0.45	$\frac{1}{11} \sim \frac{1}{15}$ $\left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{16}\right)$	0.25～0.50 (0.25～0.50)	$\frac{1}{10} \sim \frac{1}{13}$ $\left(\frac{1}{11} \sim \frac{1}{14.5}\right)$	0.25～0.50 (0.25～0.50)	$\frac{1}{9} \sim \frac{1}{12}$ $\left(\frac{1}{11} \sim \frac{1}{13.5}\right)$	0.25～0.55 (0.30～0.55)
双阶柱之中段柱	 此栏中：h_1——双阶柱的上段柱的截面高度； b_1, b_3——双阶柱的上段和下段柱的截面宽度		轻型厂房 $Q \leqslant 20t$				中型厂房 $30t \leqslant Q \leqslant 75t$		重型厂房 $100t \leqslant Q \leqslant 150t$		重型厂房 $175t \leqslant Q \leqslant 250t$		特重型厂房 $Q > 250t$	
							$h_2 = h_1 + 500$ $b_1 \leqslant b_2 \leqslant b_3$		$h_2 = h_1 + 750$ $b_1 \leqslant b_2 \leqslant b_3$		$h_2 = h_1 + 750$ $b_1 \leqslant b_2 \leqslant b_3$		$h_2 = h_1 + 750$ $b_1 \leqslant b_2 \leqslant b_3$	

注：表中列有两项数值时，不带括号的用于重级工作制吊车($A_6 \sim A_8$)；
带括号的用于中、轻级工作制吊车($A_1 \sim A_5$)。

2）排架平面内的稳定应按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1-0.8\dfrac{N}{N_{EX}}\right)}\leqslant f \tag{10-10}$$

式中 N——所计算构件段范围内的轴心压力；

φ_x——弯矩作用平面内（绕 x 轴）的轴心受压构件稳定系数，根据截面分类（见表 14-1）和长细比按表 14-2～14-11 采用；

M_x——所计算构件段范围内绕 x 轴的最大弯矩；

N_{EX}——欧拉临界力，$N'_{EX}=\dfrac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_x^2}$；

W_{1x}——弯矩作用平面内（对 x 轴）较大受压纤维的毛截面模量；

β_{mx}——等效弯矩系数，对于排架柱，取 $\beta_{mx}=1$。排架平面外的稳定，应按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_y A}+\eta\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_b W_{1x}}\leqslant f \tag{10-11}$$

式中 φ_y——弯矩作用平面外（对 y 轴）的轴心受压构件稳定系数，按表 24-2～24-9 采用；

φ_b——均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，按表 3-4～3-9 采用，对闭口截面：$\varphi_b=1.0$；

η——截面影响系数，闭口截面 $\eta=0.7$，其他截面 $\eta=1.0$；

β_{tx}——等效弯矩系数，可按 3.2.4 条（2）确定；

（2）格构式柱在框架平面内的整体稳定应按下列公式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{W_{1x}\left(1-\varphi_x\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}\leqslant f \tag{10-12}$$

$$W_{1x}=\frac{I_x}{y_0} \tag{10-13}$$

式中 φ_x——在排架平面内对（虚轴）x 轴的轴心受压构件稳定系数，以换算长细比 λ_{ox}（按表 3-18 中公式计算）进行计算；

I_x——对（虚轴）x 轴的毛截面惯性矩；

y_0——由（虚轴）x 轴至压力较大分肢重心线的距离或至压力较大分肢腹板边缘的距离，取二者的较大值；

N'_{Ex}——欧拉临界力，$N'_{Ex}=\pi^2 EA/1.1\lambda_{ox}^2$。

在排架平面外的整体稳定可不必计算，但应计算分肢的稳定。

（3）在计算格构式柱分肢的稳定时，分肢的轴心力，可按图 10-16 中的计算草图计算。

对于分肢 1 $$N_1=\frac{Ny_2}{h}+\frac{M'_x}{h}$$

对于分肢 2 $$N_2=\frac{Ny_1}{h}+\frac{M_x}{h}$$

式中　N_1、N_2——分肢1、分肢2的轴心力；

M_x——使分肢2受压的弯矩；

M'_x——使分肢1受压的弯矩；

y_1、y_2——由虚轴 x 至分肢1重心线和分肢2重心线的距离（图10-16）；

分肢一般为轴心受压构件，可不必进行强度计算，仅需按下式进行稳定计算：

$$\frac{N_i}{\varphi A_i} \leqslant f \tag{3-44}$$

式中　N_i——分肢1或2的轴心力；

φ——分肢的轴心受压稳定系数；

A_i——相应于分肢1或2的截面面积。

阶形柱的格构式下段柱的屋盖肢就属于这类轴心受压构件，可按上述公式进行稳定计算。

(4) 阶形柱的实腹式或格构式下段柱的吊车肢，当其顶部吊车梁为突缘式支座时如图10-17（a）所示，可不考虑吊车梁支座反力的偏心影响，可按中心受压构件计算单肢的稳定。当吊车肢顶部吊车梁为平板式支座时，则应考虑由于相邻两吊车梁支座反力之差（$R_1 - R_2$）所产生的排架平面外的弯矩 M_y 如图10-17（b）、（c）、（d）所示。此时，吊车肢为压弯构件，应按压弯构件进行计算。

吊车肢的弯矩 M_y 可按下式计算，并假设全部由吊车肢承受：

$$M_y = (R_1 - R_2)e \tag{10-14}$$

式中　e——吊车梁支座反力作用线至吊车肢中心线（Y 轴线）的距离；如图10-17（b）、（c）所示；

R_1、R_2——相邻两吊车梁的支座反力。

弯矩 M_y 沿吊车肢高的分布如图10-17（d）所示，此时，可近似地假设吊车梁支承处为铰接，下端为刚性固定，因此下端弯矩为 $M'_y = -\frac{1}{2}M_y$。

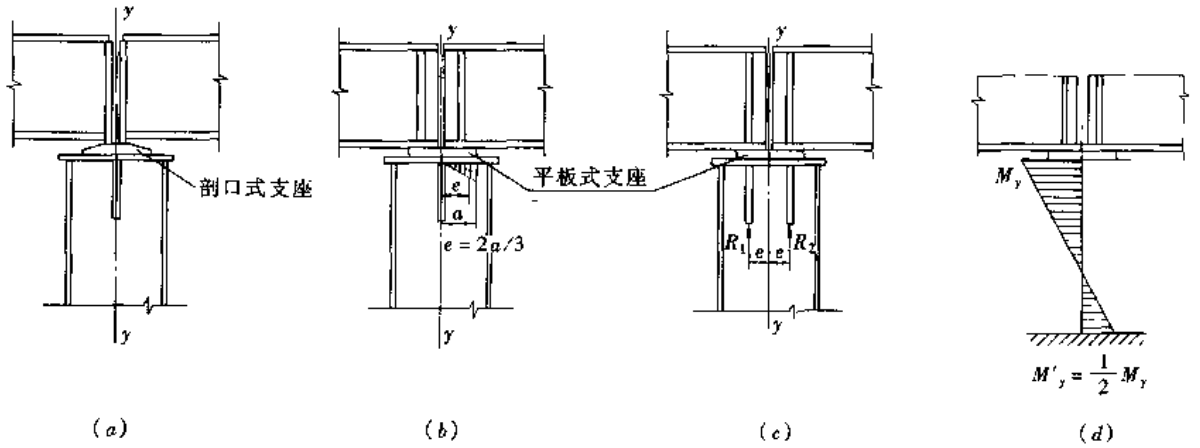


图10-17　吊车肢的弯矩 M_y 计算示意图

(5) 当阶形柱的吊车肢顶部吊车梁为平板式支座时，实腹式柱（图 10-18）吊车肢的强度和稳定性应按下列公式计算：

强度计算：

$$\frac{N}{A_n}+\frac{M_x}{\gamma_x W_{n1x}}+\frac{M_y}{\gamma_y W_{n1y}}\leqslant f \tag{10-15}$$

式中 N、M_x——所计算截面的轴心力和绕 x 轴（排架平面内）的弯矩；

M_y——作用于吊车肢绕 y 轴（排架平面外）的弯矩；

W_{n1x}——吊车肢一侧对 x 轴的净截面模量；

W_{n1y}——吊车肢对 y 轴的截面模量；

γ_x——对 x 轴的截面塑性发展系数；

γ_y——吊车肢对 y 轴的截面塑性发展系数。

稳定计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1-0.8\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}+\eta\frac{\beta_{ty}M_y}{\varphi_{by}W_{1y}} \tag{10-16}$$

$$\frac{N}{\varphi_y A}+\eta\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_{bx}W_{1x}}+\frac{\beta_{my}M_y}{\gamma_y W_{1y}\left(1-0.8\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)} \tag{10-17}$$

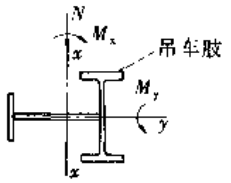


图 10-18 阶形柱的实腹式下段柱截面计算草图

式中 φ_x、φ_y——对 x 轴和 y 轴的轴心受压构件稳定系数；

φ_{bx}、φ_{by}——均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数：对工字形（含 H 型钢）截面，φ_{bx} 可按表 3-4～表 3-9 确定，φ_{by} 可取 1.0；对闭口（箱形）截面取 $\varphi_{bx}=\varphi_{by}=1$；

W_{1x}——吊车肢一侧对 x 轴的毛截面模量；

W_{1y}——吊车肢对 y 轴的毛截面模量；

β_{mx}——等效弯矩系数，对排架柱取 $\beta_{mx}=1$；

β_{my}——等效弯矩系数，对吊车肢取 $\beta_{my}=0.65+0.35\dfrac{M_{2y}}{M_{1y}}$，$M_{1y}$和 M_{2y}是在排架平面外，吊车肢两端的端弯矩，如图 10-17（d）所示 $M_1=2M_2$，此时，$\beta_{my}=0.825$；

β_{tx}——等效弯矩系数，对排架柱取 $\beta_{tx}=0.65+0.35\dfrac{M_{2x}}{M_{1x}}$，但不得小于 0.4，$M_{1x}$和 M_{2x}为端弯矩，使构件产生同向曲率时，取正号，产生反向曲率（即有反弯点）时取负号，$|M_{1x}|\geqslant|M_{2x}|$；

β_{ty}——等效弯矩系数，对吊车肢 $\beta_{ty}=1.0$。

(6) 当阶形柱的下段柱为格构式柱，且吊车肢顶部吊车梁为平板式支座时，格构式柱的整体稳定和吊车肢的稳定，可按下列规定计算（图 10-16）：

柱在吊车肢一侧的整体稳定可按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{W'_{1x}\left(1-\varphi_x\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}+\frac{\beta_{ty}M_y}{W_{1y}}\leqslant f \tag{10-18}$$

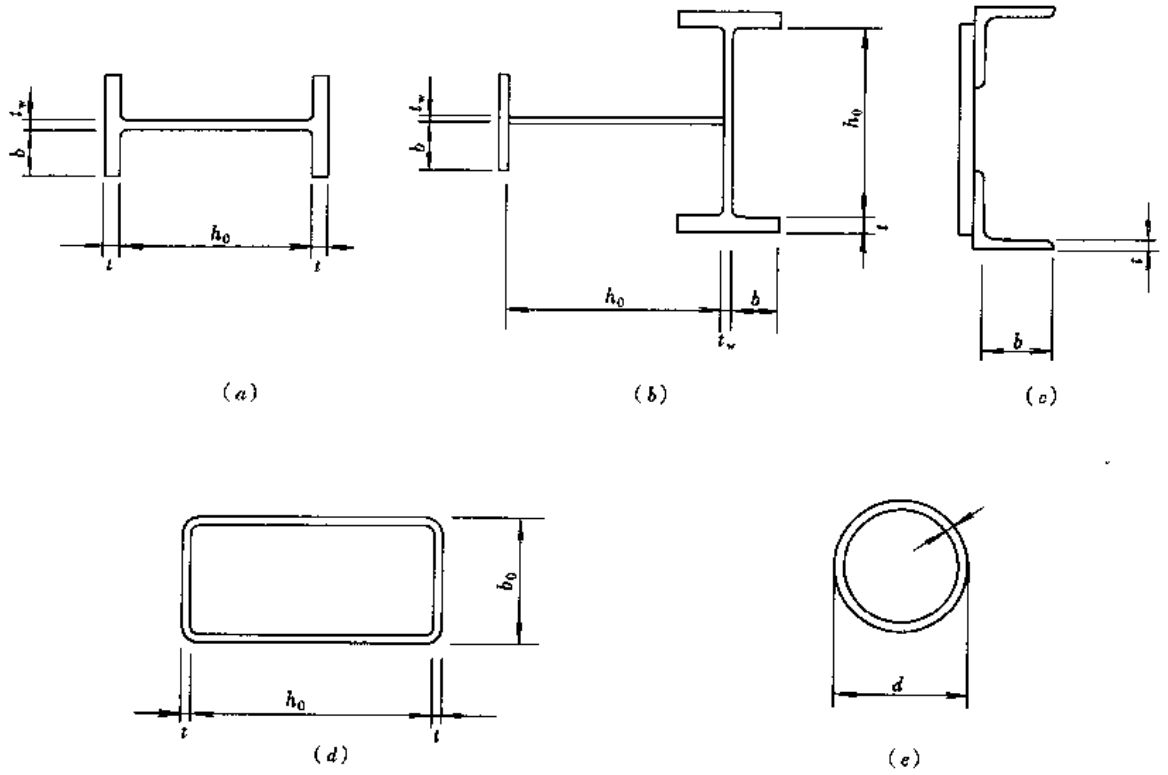


图 10-19　实腹式柱和构架式柱分肢的截面示意图

吊车肢的稳定计算，可按本条第（3）款的公式计算吊车肢的轴心力，再按本条第（4）款的规定计算 M_y，然后按本条第（5）款的公式进行其稳定计算。

2. 排架柱柱身的构造要求

（1）实腹式柱及格构式柱的分肢，当采用工字形截面或组合截面（图 10-19）时，翼缘板自由外伸宽度 b 与其厚度 t 之比，应符合下列要求：

1）轴心受压构件：

$$\frac{b}{t} \leqslant (10 + 0.1\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-19}$$

式中　λ——构件两方向长细比的较大值，当 $\lambda < 30$ 时，取 $\lambda = 30$；当 $\lambda > 100$ 时，取 $\lambda = 100$。

2）压弯构件：

$$\frac{b}{t} \leqslant 13\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-20}$$

当强度和稳定计算中取 $\gamma_x = 1.0$ 时，b/t 可放宽至 $15\sqrt{\frac{235}{f_y}}$。

（2）工字形及 H 形截面的受压构件，腹板计算高度 h_0 与其厚度 t_w 之比，应符合下列要求：

1）轴心受压构件：

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (25 + 0.5\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-21}$$

式中　λ——构件两方向长细比的较大值；当 $\lambda < 30$ 时取 $\lambda = 30$；当 $\lambda > 100$ 时，取 $\lambda = 100$。

2）压弯构件：

当 $0 \leqslant \alpha_0 \leqslant 1.6$ 时，

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (16\alpha_0 + 0.5\lambda + 20)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-22}$$

当 $1.6 \leqslant \alpha_0 \leqslant 2.0$ 时，

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (48\alpha_0 + 0.5\lambda - 26.2)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-23}$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

式中 σ_{max}——腹板计算高度边缘的最大压应力，计算时不考虑构件的稳定系数和截面塑性发展系数；

σ_{min}——腹板计算高度另一边缘相应的应力，压应力取正值，拉应力取负值；

λ——弯矩作用平面内的长细比。

（3）箱形截面受压构件的腹板计算高度 h_0 与其厚度 t_w 之比，应符合下列要求：

1）轴心受压构件

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant 40\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-24}$$

2）压弯构件

当 $0 \leqslant \alpha_0 \leqslant 1.6$ 时

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (16\alpha_0 + 0.5\lambda + 25)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-25}$$

当 $1.6 \leqslant \alpha_0 \leqslant 2.0$ 时

$$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (38.4\alpha_0 + 0.4\lambda - 20.96)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{10-26}$$

当此值小于 $40\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 时，应采用 $40\sqrt{\frac{235}{f_y}}$。

λ 为弯矩作用平面内的长细比。

（4）圆管截面的受压构件，其外径与壁厚之比，不应超过 $100\left(\frac{235}{f_y}\right)$。

（5）当排架柱的腹板高厚比不能满足本条第（2）款和第（3）款时，可用纵向加劲肋加强，或在计算柱的强度和稳定性时将腹板的截面仅考虑计算高度边缘范围内两侧宽度各为 $20t_w\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 的部分（计算柱的稳定系数时，仍用全部截面）。

采用纵向加劲肋加强的腹板，其在受压较大翼缘与纵向加劲肋之间的高厚比仍应符合本条第（2）、（3）款的要求。纵向加劲肋宜在腹板两侧成对配置，纵向加劲肋的尺寸应符合表 3-14 公式（3-30）的规定。在实际应用中，由于设置纵向加劲肋，增加了制作工作量，构造上也造成一些困难，因此很少采用。

（6）实腹柱如图 10-20（a）、（b）所示，其腹板计算高度 h_0 与厚度 t_w 之比 $\frac{h_0}{t_w} > 80$

$\sqrt{\frac{235}{f_y}}$时，应采用成对设置的横向加劲肋加强腹板，其间距不得大于3h，并应满足表3-19的规定。当承受横向集中荷载较大时可适当增厚加劲肋的厚度或由计算确定。

（7）格构式柱和大型实腹式柱，应在承受较大水平力处、设有悬臂牛腿处和运送单元的端部设置横隔，横隔间距不大于柱长边的9倍和8m，一般每4～6m设置一道横隔板或横隔架）。对于格构式柱，横隔板或横隔架应设置在水平缀条处，如图10-20所示。

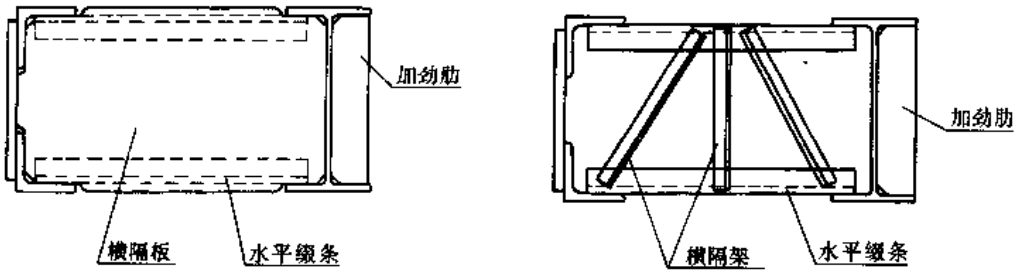


图10-20　柱横隔构造图

（8）大型钢柱，由于长度过长受运输长度限制，或由于重量过重受起重设备能力和起吊高度限制时，可分段制作和运输，并在现场进行拼接或高空安装拼接。阶形柱的拼接接头一般设在肩梁上部，内力较小的部位，如图10-25～10-27所示。为保证柱接头的强度，一般柱腹板采用水平对接坡口焊缝，而翼缘采用45°～55°斜对接坡口焊缝，如图10-30所示。但随着焊接技术和检测手段的不断提高，国外先进国家均采用水平对接接头，这样既省工又省料，美国LRFD钢结构规范手册专门推荐这种接头。

10.2.4　缀条的计算和构造

1. 缀条的计算可按下列规定进行：

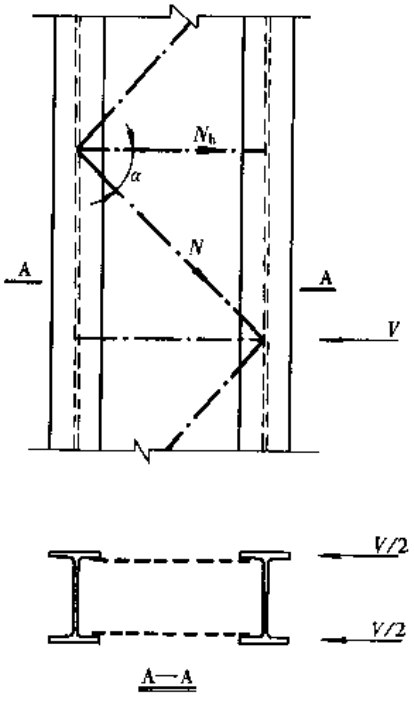


图10-21　缀条内力计算草图

（1）格构式柱的缀条，一般采用单角钢，并沿柱高按三角形布置在柱身两侧平面内，如图10-21所示。缀条承受的内力可按下列公式计算：

$$N_h = \frac{V}{2} \tag{10-27}$$

$$N = \frac{V}{2\cos\alpha} \tag{10-28}$$

式中　V——计算剪力，由排架分析所得到的柱的最大水平剪力或由公式（10-29）算得的剪力，取两者中的较大值；

α——斜缀条与水平缀条的夹角；

N_h——水平缀条的内力；

N——斜缀条的内力。

$$V = \frac{Af}{85}\sqrt{\frac{f_y}{235}} \tag{10-29}$$

（2）缀条按两端为铰接的轴心受压构件计算；缀条

通常并不由强度计算控制，而仅需按下列公式进行稳定计算：

$$\frac{N_h}{\varphi A_h} \leqslant f' \tag{10-30}$$

$$\frac{N}{\varphi A} \leqslant f' \tag{10-31}$$

式中 φ——根据缀条最大长细比确定的受压构件稳定系数，可按下列规定采用：

1）当缀条采用等肢角钢且不设附加缀条时，应采用角钢最小回转半径来计算长细比，并按 b 类截面由表 14-3 或 14-7 确定 φ 值；

2）当缀条采用不等肢角钢且长肢与柱肢相连，短肢设附加缀条时，应采用缀条在缀材平面内和平面外的较大细长比（计算长度取附加缀条之间的距离），并按 c 类截面按表 14-4 或 14-8 确定 φ 值；

A_h——水平缀条的毛截面面积；

A——斜缀条的毛截面面积；

f'——单面连接的单角钢缀条，按轴心力计算时的强度设计值：在计算稳定性时，其值等于钢材的强度设计值乘以折减系数 $\psi = 0.6 + 0.0015\lambda$，但不大于 1.0；对于长边与柱肢相连的不等边角钢，$\psi = 0.7$。

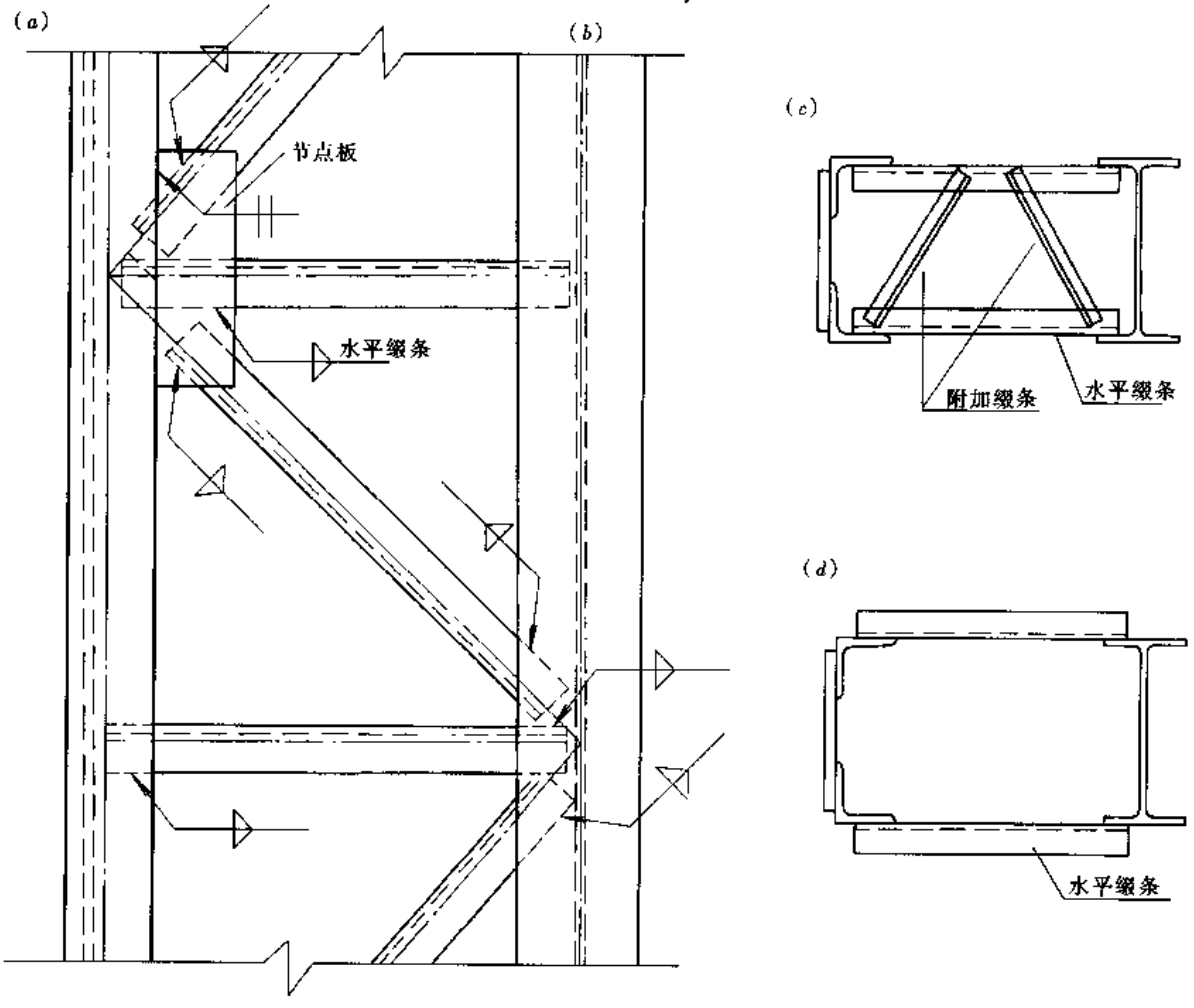


图 10-22 缀条与柱肢的连接

2. 缀条的构造要求

（1）缀条与柱肢连接一般都连在柱肢的内侧，使柱的外表面平整。对于小型格构式柱，当缀条连接在柱肢内侧有困难时，也可将缀条连接在柱肢外侧。当缀条直接连接于柱肢翼缘板，而连接焊缝长度不能满足要求时，可增设节点板如图 10-22（a）所示。此时，节点板与柱肢翼缘板对焊并保持内平（缀条连接在柱肢内侧）如图 10-22（c）所示或外平（缀条连接在柱肢外侧），如图 10-22（d）所示。为了节约钢材，缀条有时采用不等肢角钢，并将角钢长肢与柱肢相连，面在短肢上设置不少于两根附加缀条，如图 10-22（e）所示，以减少角钢短肢方向的计算长度。

（2）缀条的重心线应与柱肢的重心线交于一点，以避免对柱于产生偏心影响，斜缀条与水平缀条的夹角，一般采用 40°～55°。缀条布置应尽量做到使节间等距离，并与柱上其他局部荷载的作用位置协调。

10.2.5　柱人孔的计算和构造

1. 柱人孔的计算可按下列规定进行

（1）人孔的计算草图和构造见图 10-23，通常将人孔两侧的分肢视为单向压弯构件，可按 10.2.3 条第 1 款中的（1）规定计算每个分肢的强度和在排架平面内和平面外的稳定性。此时，每个分肢的计算长度，不论在排架平而内还是在排架平面外，均取人孔的净空高度 l。

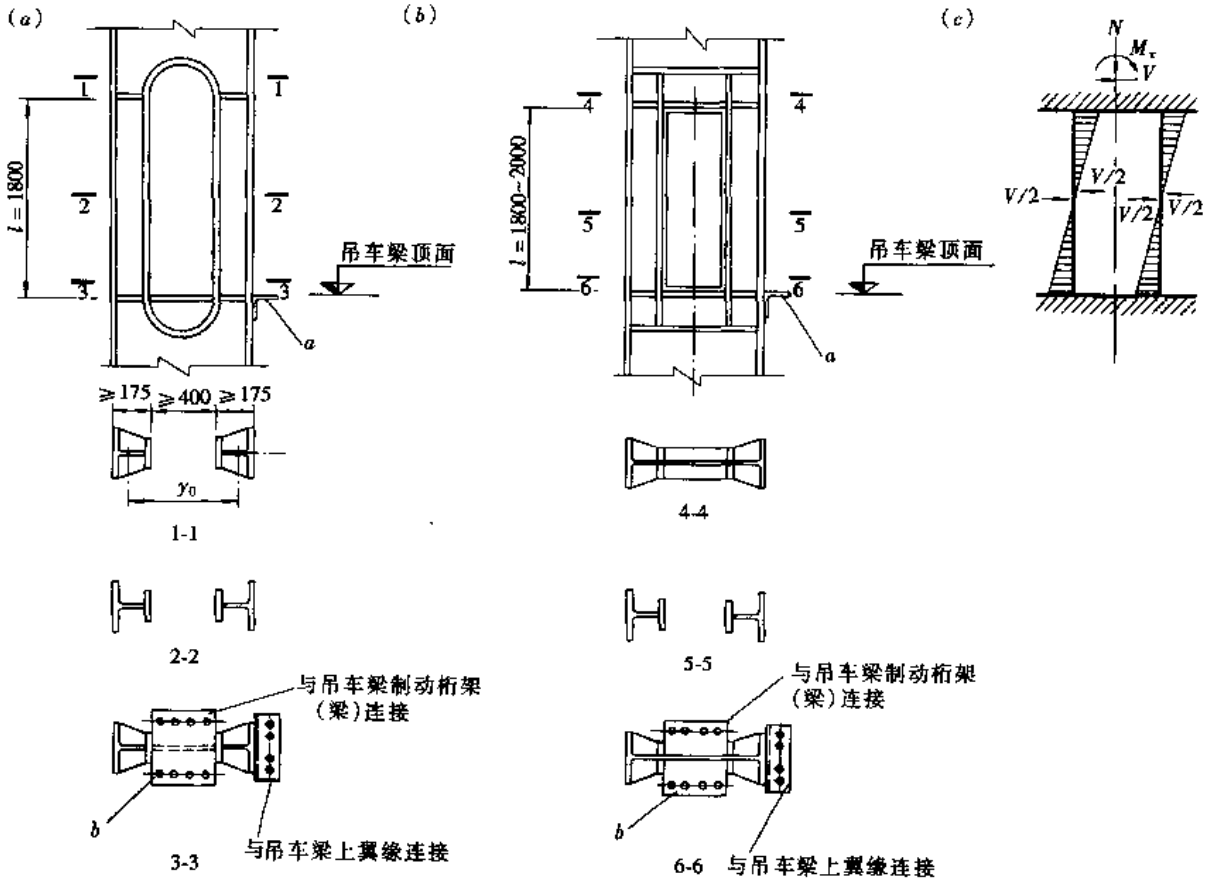


图 10-23　柱的人孔构造和计算简图

(2) 人孔一个分肢的轴心力 N_1、剪力 V_1、弯矩 M_{x1}可按下列公式计算：

$$N_1 = \frac{N}{2} + \frac{M_x}{y_0} \tag{10-32}$$

$$M_{x1} = \frac{Vl}{4} \tag{10-33}$$

$$V_1 = \frac{V}{2} \tag{10-34}$$

式中 N、M_x、V——人孔范围内柱截面的最不利组合的内力值；

y_0——两分肢截面重心线间的距离；

l——人孔净空高度。

2. 柱人孔的构造要求

(1) 阶形柱的实腹式上段柱和中段柱，当在吊车梁顶标高处设有安全通道而需要在柱的腹板上开设通行人孔时，可采用图 10-23 中所示的形式。人孔的净空尺寸，一般采用 400mm 宽，1800～2000mm 高，孔洞周边按构造设置加劲板以加强腹板。当采用图 10-23 (a) 的形式时，用于孔边的纵向加劲板，其外伸宽度 $b_1 \geqslant 10t_w$ (t_w 为柱腹板的厚度)，但不应小于 120mm，其厚度 $t_1 \geqslant t_w$ 但不得小于 10mm；当采用图 10-23 (b) 的形式时，孔边纵向加劲肋的总宽度 $b_2 \geqslant 250$mm，其厚度 $t_2 > t_w$ 且不小于 10mm。人孔处的横向加劲板，一般可取柱身横向加劲板相同的尺寸，其厚度可适当增加 2～4mm。纵、横向加劲板与柱腹板的连接焊缝厚度不宜小于 8mm。

(2) 人孔底部加劲板应与吊车梁顶标高相协调，孔底处的横向加劲板（图 10-23 3-3、6-6 中的连接板 b）及柱翼缘连接板或角钢，因与吊车制动结构及吊车梁上翼缘相连，均需传递吊车横向水平荷载，其板厚与尺寸应满足本篇第 8 章有关的构造和计算要求。

10.2.6 柱肩梁的计算和构造

1. 柱肩梁的计算可按下列规定进行：

(1) 单壁式肩梁的腹板可近似地按简支梁计算，作用于肩梁上的力 P_1、P_2 (图 10-24)可按下列公式计算：

$$P_1 = \frac{N}{2} - \frac{M_x}{h_1} \tag{10-35}$$

$$P_2 = \frac{N}{2} + \frac{M_x}{h_1} \tag{10-36}$$

式中 N、M_x——肩梁以上截面最不利组合的轴心力和弯矩；

h_1——上段柱两翼板中心间的距离；

h_2——肩梁腹板的计算跨度；对于边列柱可近似地取边柱截面的外边缘至吊车肢重心线之间的距离；对于中列柱可取两分肢重心线之间的距离。

(2) 肩梁腹板的强度可按下列公式计算：

抗弯强度

$$\frac{M}{\gamma_x W_n} \leqslant f \tag{10-37}$$

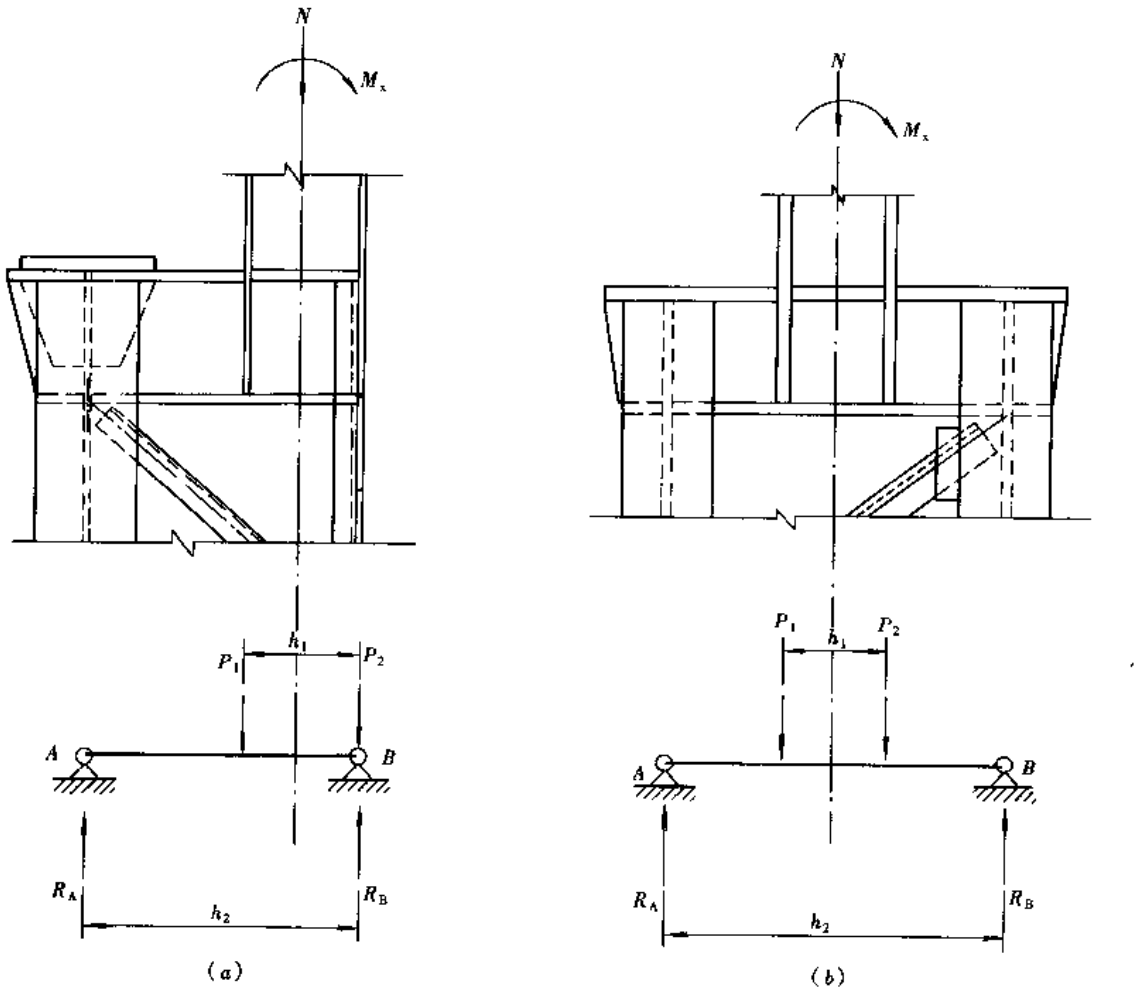


图 10-24　肩梁受力简图

(a) 边列柱；(b) 中列柱

抗剪强度

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leqslant f_v \tag{10-38}$$

式中　M、V——由肩梁以上柱传来的轴心力 P_1 和 P_2 对肩梁腹板所产生的弯矩和剪力，可按图 10-24 进行计算求得；

γ_x——截面塑性发展系数，按表 3-20 采用；

W_n——腹板净截面模量；

S——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；

t_w——肩梁腹板厚度；

I——肩梁腹板的毛截面惯性矩；

f_v——钢材抗剪强度设计值，按表 2-3 采用。

(3) 当肩梁下面的下段柱为实腹式柱时，可不必作强度计算，肩梁腹板的厚度可按构造确定。

(4) 双壁式肩梁的腹板计算与单壁式相同，只要将肩梁以上的上段柱传来的轴心力由双壁式肩梁两侧的腹板共同承担来计算每侧腹板的强度。

（5）上段柱翼缘板与肩梁腹板的连接焊缝，可取上段柱最大轴心力 P_1 或 P_2（当为中列柱）如图 10-24 所示，并按后面的公式（10-48）计算焊缝，此时将公式（10-48）中的 R 用 P_1 或 P_2 代替即可。

2. 柱肩梁的构造要求

（1）单壁式肩梁的腹板高度，除应根据计算确定外，尚应具有一定的高度，以保证柱接头的刚度。一般可取腹板的高度为下段柱截面高度的 0.4～0.6 倍，当下段柱截面较大时，取较小值，反之取较大值。腹板的厚度由计算确定，但不宜小于 10mm。

（2）肩梁是由腹板、上盖板、下盖板和垫板所组成，其构造形式如图 10-25～图 10-30 所示。当吊车梁为突缘式支座时，为了节约钢材，减小肩梁腹板的厚度，保证在吊车反力作用下，腹板端面承载能力以及减少安装偏差所引起的偏心影响，可采取在肩梁腹板两侧各侧焊一块端面支承板 6 如图 10-26～图 10-29 所示，板 6 与肩梁腹板的连接，在顶面采用剖口焊，焊后要刨平顶紧于上盖板 5，其他三边采用贴角焊缝与腹板焊接，焊缝厚度可取 12～20mm，板 6 的宽度不得小于吊车梁突缘支座板的宽度，其高度可根据单侧吊车梁支座反力的 75% 计算所需的焊缝长度来确定，但不宜小于 300mm，板厚可根据吊车梁的支座反力确定，一般可取 16～30mm。对于轻、中型厂房，当采用肩梁的腹板较厚，并可单独支承吊车梁的反力时，也可不设板 6。

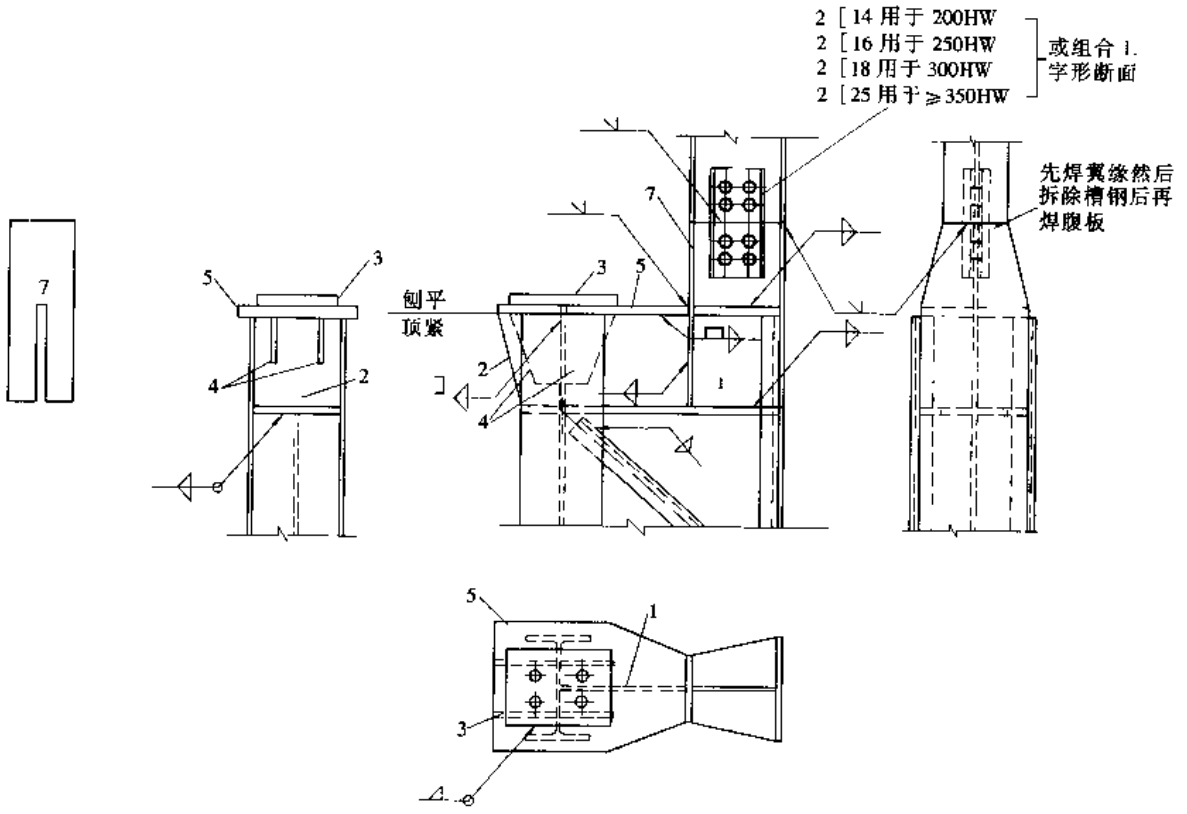


图 10-25 单壁式肩梁（格构式边列柱）

（3）当肩梁顶面的吊车梁为平板式支座时，肩梁的构造可参照吊车梁为突缘式支座的构造要求确定，但宜在吊车肢顶部位于吊车梁支承加劲肋的相应处增设加劲肋 4，如图 10-25 所示。加劲肋 4 应按吊车梁的支座反力计算其端面支承压应力和焊接焊缝的强度。

该加劲肋的顶面应刨平顶紧于上盖板下。

（4）当采用双壁式肩梁且顶部支承的吊车梁为突缘式支座时，其构造形式如图 10-28，图 10-29 所示。为了便于安装螺栓和在肩梁箱内焊接时通风的需要，应在肩梁的上盖上开直径为 150mm 的孔数个。下盖板也应适当开孔，以排除肩梁箱内可能有的积水。

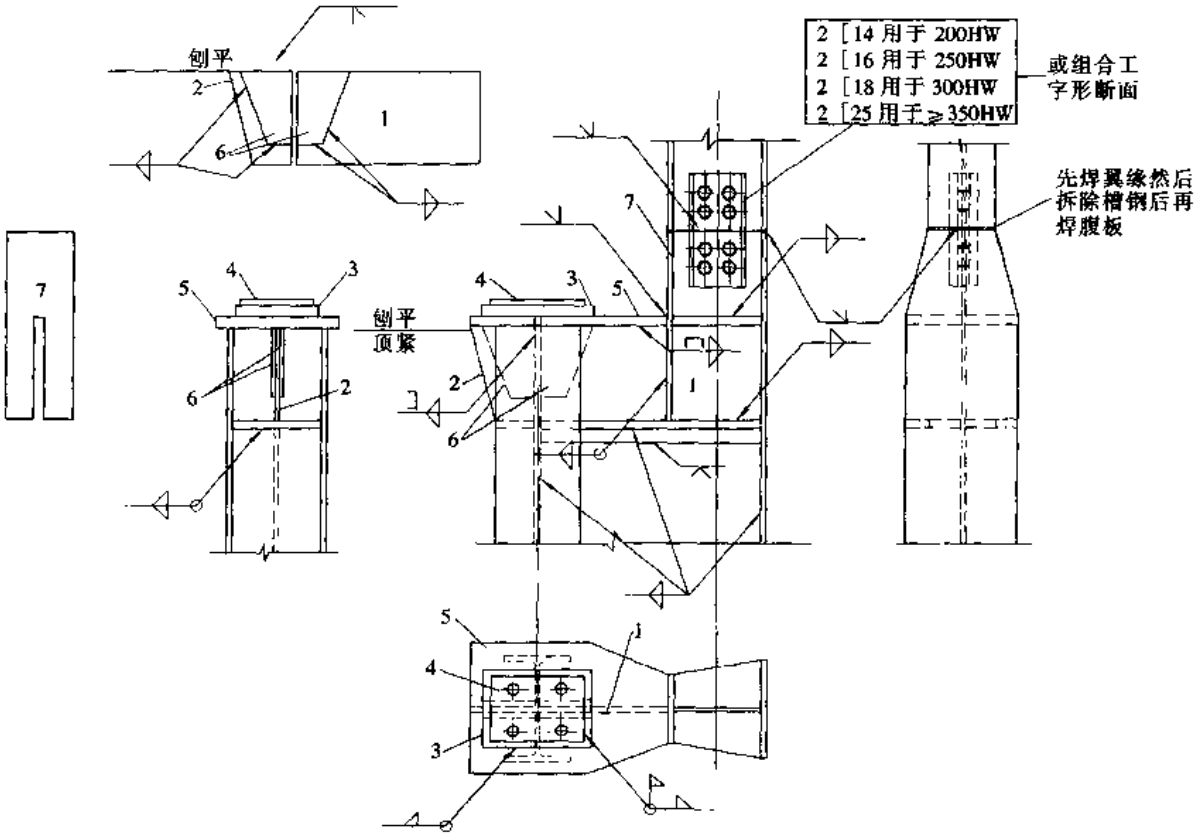


图 10-26　单壁式肩梁（实腹式边列柱）

（5）当双壁式肩梁顶部支承的吊车梁为平板式支座时，可参照图 10-25 的构造，在吊车肢顶部位于吊车梁支承加劲肋的相应处增设加劲肋 4，其他构造形式均与肩梁顶部支承的吊车梁为突缘式的肩梁相同，只是在吊车肢顶部腹板两侧加焊的端面支承板 6 可以取消。

10.2.7　牛腿的计算和构造

1. 牛腿与柱连接处的截面强度和连接焊缝应按下列要求计算。

（1）牛腿与柱连接处的截面强度可按下列公式计算：

抗弯强度

$$\frac{M}{\gamma_x W_n} \leqslant f \tag{10-39}$$

抗剪强度

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leqslant f_v \tag{10-40}$$

式中　M、V——分别为牛腿计算截面处的弯矩和剪力（图 10-31 中 $M = Pe$；$V = P$）；

t_w——牛腿腹板的厚度；

（2）当牛腿上翼缘的集中荷载处未设置支承加劲肋时，牛腿腹板计算高度上边缘的局部承压强度应按下式计算：

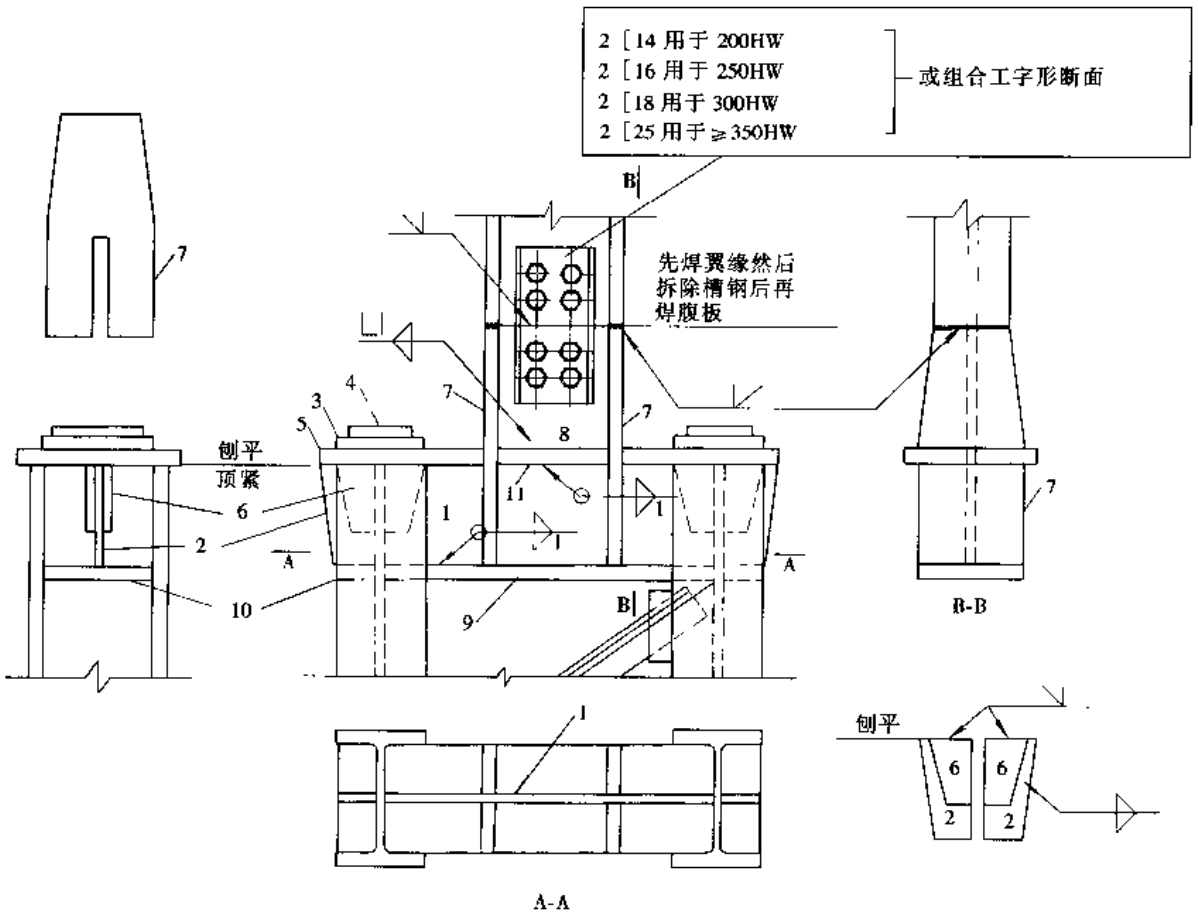


图 10-27 单壁式肩梁（中列柱）

$$\sigma_c = \frac{\psi P}{t_w l_1} \leqslant f \tag{10-41}$$

式中 P——集中荷载；

ψ——集中荷载增大系数，对牛腿而言 $\psi = 1$；

l_1——集中荷载沿牛腿悬挑方向的支承长度加上牛腿顶板厚度的 5 倍；

（3）在计算截面的腹板计算高度边缘处，尚应按下式计算折算应力：

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leqslant \beta_1 f \tag{10-42}$$

式中 σ、τ、σ_c——牛腿腹板高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力，其中 τ 和 σ_c 可按公式（10-40）和公式（10-41）计算。σ 应按下式计算

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_1 \tag{10-43}$$

（σ 和 σ_c 以拉应力为正值，压应力为负值）

y_1——腹板计算高度边缘至梁中和轴的距离；

β_1——计算折算应力的强度设计值增大系数；当 σ 与 σ_c 异号时，取 $\beta = 1.2$；当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c = 0$ 时取 $\beta = 1.1$。

（4）当牛腿上的集中荷载处设置支承加劲肋时，在腹板计算截面高度边缘处的折算应

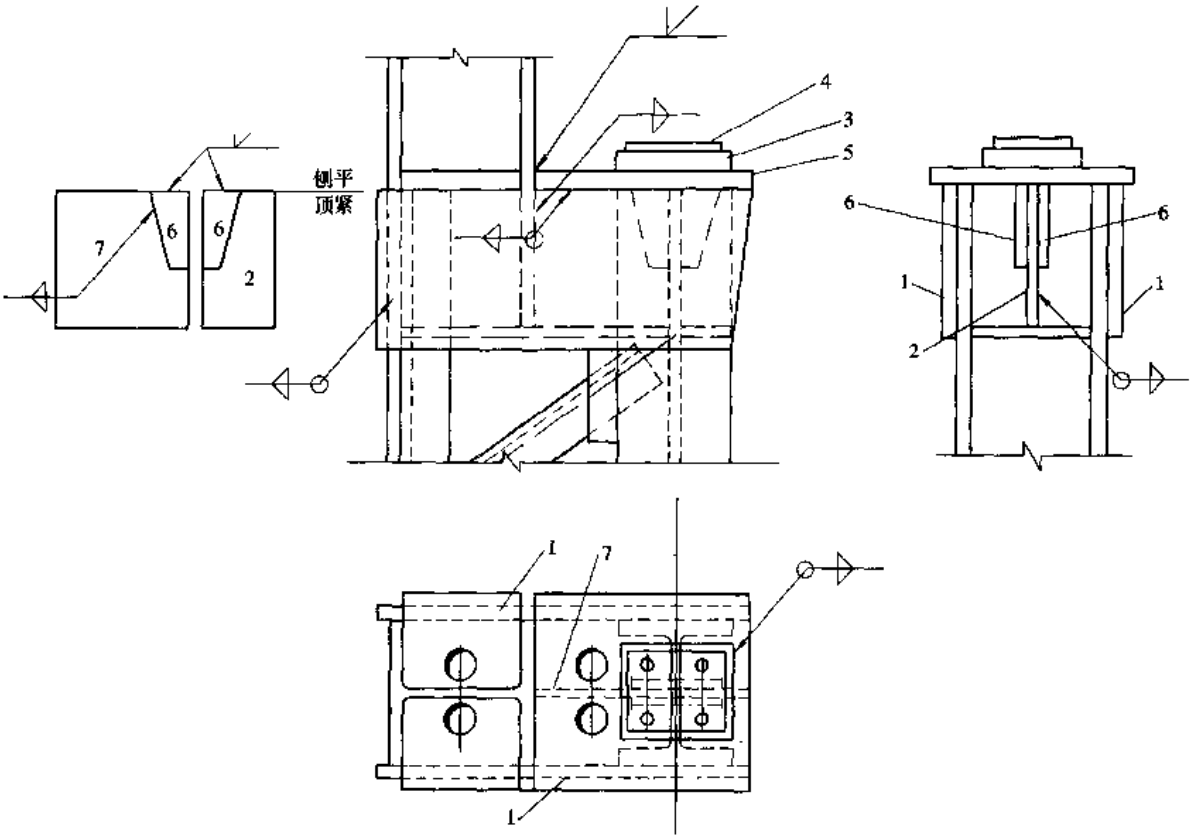


图 10-28　双壁式肩梁（边列柱）

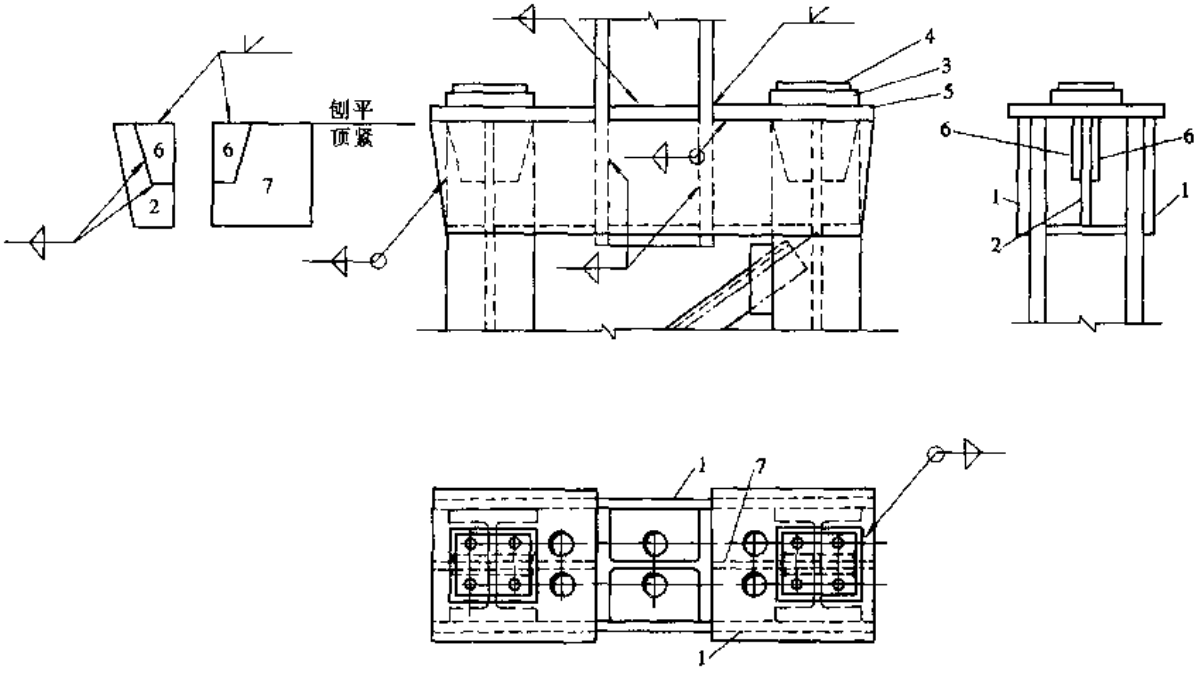


图 10-29　双壁式肩梁（中列柱）

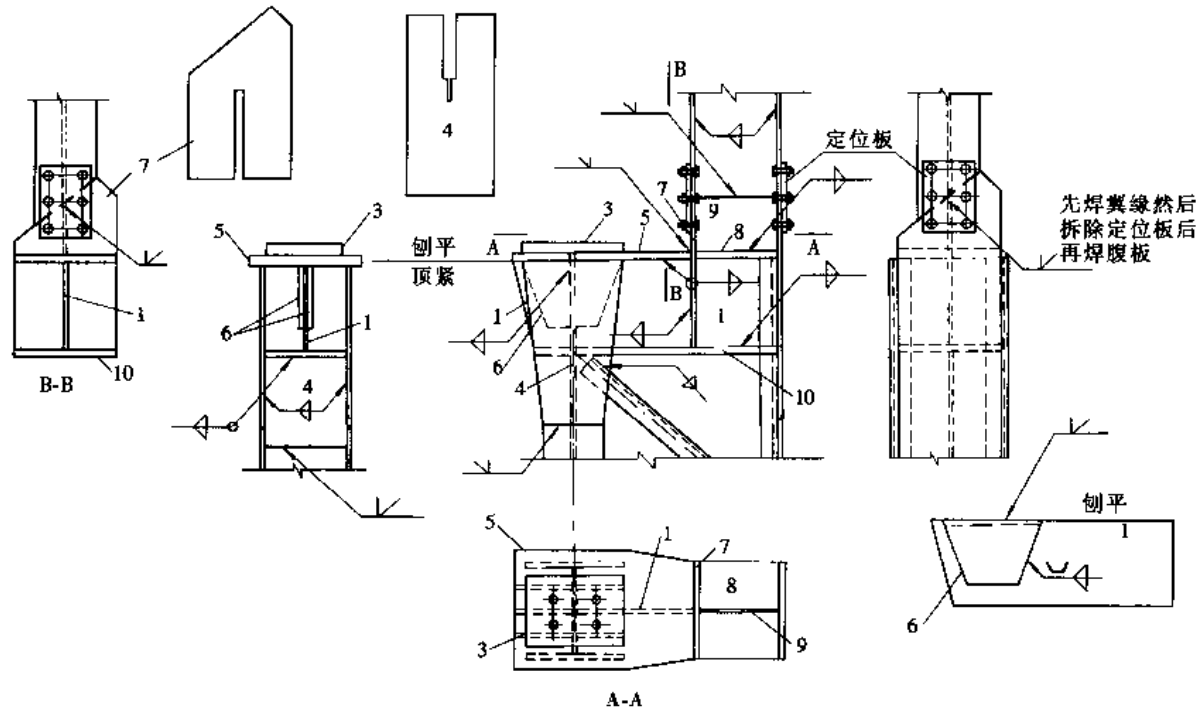


图 10-30 单壁式肩梁（柱肢为焊接工字钢）

力，应按下式计算：

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant 1.1f \tag{10-44}$$

（5）牛腿与柱连接处的焊缝计算

当牛腿的形式如图 10-31 所示时，直角角焊缝的强度应按下式计算

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} \leqslant f_f^w \tag{10-45}$$

式中 σ_f——由弯矩 M 产生的垂直于角焊缝长度方向并按焊缝有效截面计算的应力，可按下式计算

$$\sigma_f = \frac{M}{W_t} \tag{10-46}$$

β_f——正面角焊缝的强度设计值增大系数，可取 1.22；

f_f^w——角焊缝的抗拉、抗剪和抗压强度，按表 2-5 采用；

W_t——所计算焊缝的有效截面模量，计算时采用焊缝的有效高度 $h_e = 0.7h_f$，其中 h_f 为贴角焊缝高度；

τ_f——由剪力 V 产生的平行于焊缝长度方向，并按有效截面计算的应力（此时，可假定剪力 V 仅由牛腿腹板两侧竖向焊缝平均承受）可按下式计算：

$$\tau_f = \frac{V}{A_f} \tag{10-47}$$

A_f——所计算焊缝的有效截面面积。

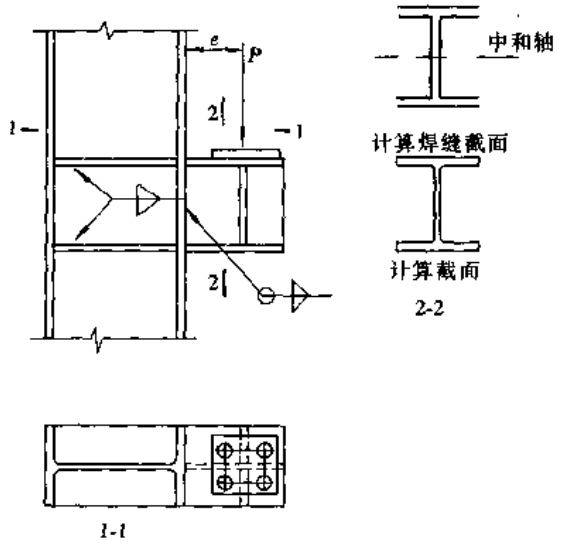


图 10-31　支承吊车梁牛腿（用于实腹式柱）

当牛腿与柱的连接采用图 10-32 所示的方案时，其连接焊缝强度应按下式计算：

$$\tau = \frac{R}{0.7nh_f l_f} \tag{10-48}$$

式中　R——按图 10-32 中的计算简图确定的 R_1 或 R_2 值；

n——所计算焊缝的系数；

l_f——每条焊缝的计算长度。（为设计长度减 $2h_f$）。

2. 牛腿构造

（1）柱上设有悬挑牛腿时，其构造形式应与牛腿上的荷载情况相适应，如图 10-31 和图 10-32 所示，图 10-31 为实腹式柱或工字形型钢柱上设置支承轻型吊车梁牛腿的示例，此时，牛腿可采用 H 型钢或三块板焊接而成，采用 H 型钢可以利用加工时切断下来的下脚料，既省料又省工。

（2）为加强牛腿的腹板，应在集中荷载下设置横向加劲肋，如图 10-31 所示。

（3）在格架式柱上设置牛腿时，应使柱水平缀条与牛腿顶面在同一标高处，并设置横隔板加强，如图 10-32 所示。

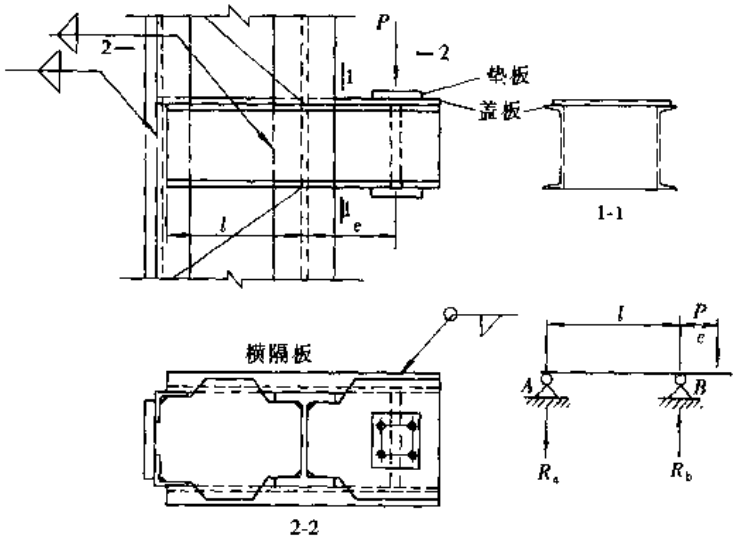


图 10-32　支承吊车梁牛腿（用于构架式柱）

（4）对于顶接于柱上的牛腿（图 10-31），其上下翼缘或盖板与柱的焊缝，应尽量采用剖口焊。

（5）图 10-32 的牛腿是由两个槽钢与一盖板组成，两槽钢分别焊于柱分肢的两外侧，

并在槽钢上翼缘之间设置横隔板。

10.2.8 柱脚的计算和构造

1. 露出式柱脚

(1) 柱脚的计算

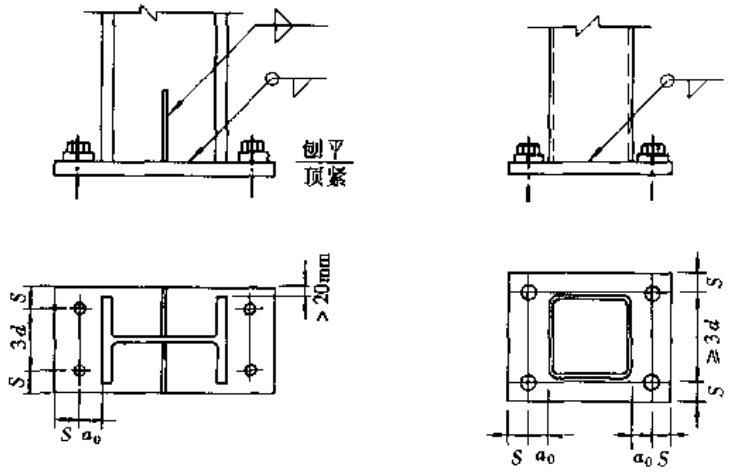


图 10-33 等截面柱柱脚

钢柱柱脚类型较多，一般是由底板、靴板、隔板、加劲肋、锚栓及其支承托座等组成，其计算包括底板的厚度与面积的确定、靴板、隔板的截面及其与柱连接焊缝的确定、锚栓直径的取值等。如图 10-33 ~ 10-36 所示。

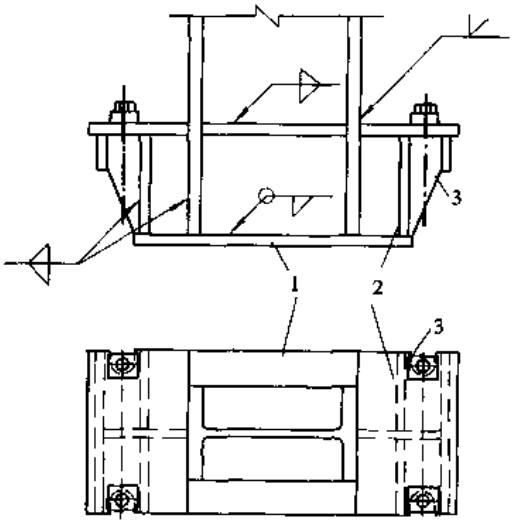


图 10-34 轻型柱整体式柱脚

1—底板；2—加劲板；3—锚栓支承托座

1) 柱脚底板的计算

A. 底板宽度 B 一般按构造确定，即：

$$B = b_0 + 2C \tag{10-49}$$

式中 b_0——柱与底板连接部分的最大宽度；

C——边距，一般取 20 ~ 50mm。

B. 底板的长度 L 应按底板下混凝土的最大受压应力不超过其轴心抗压强度设计值 f_c 乘以局部承压时的提高系数 β_c，即：

$$\frac{N}{BL} + \frac{6M}{BL^2} \leqslant f_c\beta_c \tag{10-50}$$

式中 N、M——使柱底板一边产生最大压应力时柱最不利组合的轴心力和弯矩；

f_c、β_c——底板下混凝土的轴心抗压强度设计值和局部承压时的提高系数（按现行混凝土结构设计规范 GB 50010—2002 取值）。

对于仅受轴心压力的格构式柱分离式柱脚则可按以下公式确定其底面积：

$$\frac{N}{BL} \leqslant f_c\beta_c \tag{10-51}$$

式中 N——格构式柱的分肢可能产生的最大轴心压力。

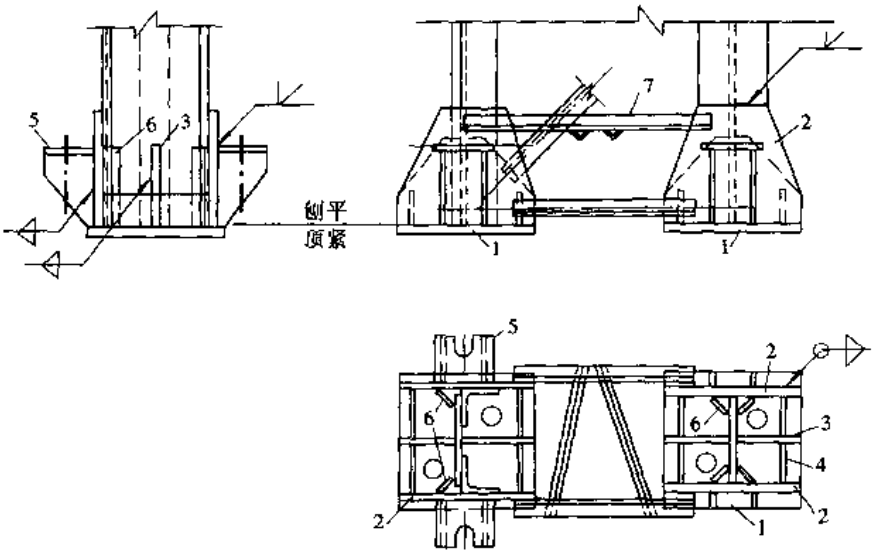
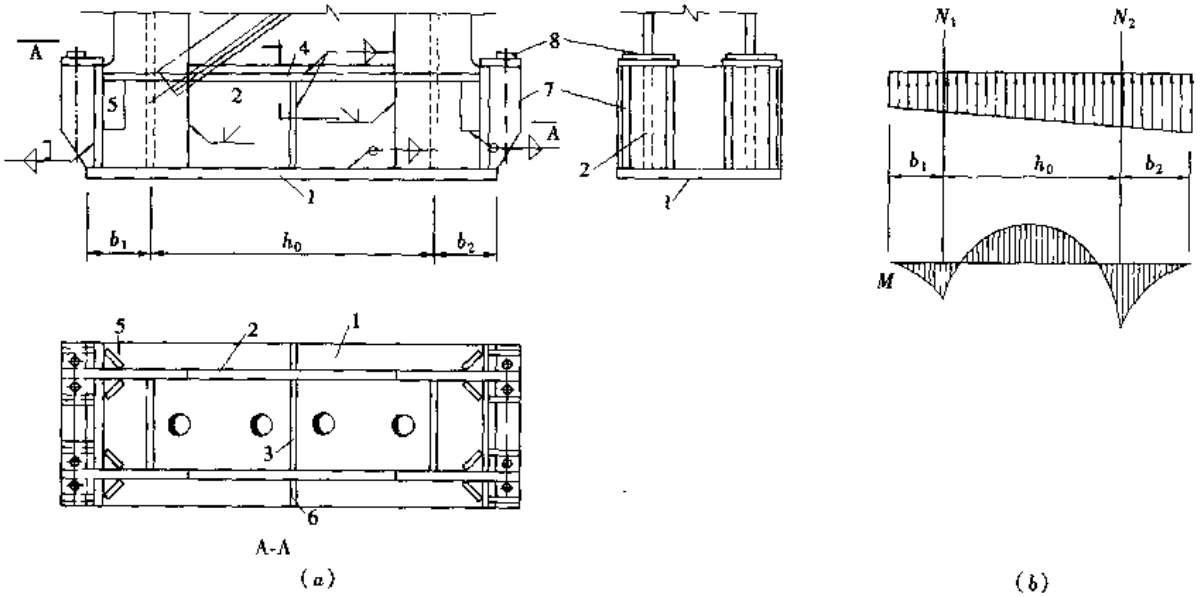


图 10-35　分离式柱脚

1—底板；2—靴板；3—加劲板；4—隔板

5—锚板支承托座；6—斜撑板；7—加强角钢



(a)　　(b)

图 10-36　重型柱整体式柱脚

1—底板；2—靴板；3—加劲隔板；4—水平加劲板

5—斜撑板；6—加劲板；7—锚栓支承托板；8—锚栓垫板

C. 底板的厚度 t 按下式计算：

$$t \geqslant \sqrt{\frac{6M}{f}} \tag{10-52}$$

式中　M——底板的弯矩，可根据底板的支承条件分别按四边支承板、三边支承板、直角边支承板、简支板和悬臂板计算所得的最大弯矩。

对于四边支承板：

$$M = \beta\sigma a_1^2 \tag{10-53}$$

σ——计算区段内底板下的均布反力

α——与 b_1/a_1 有关的系数，按表 10-4 选用；

a_1、b_1——计算区段内板的短边和长边。

对于三边支承板和直角边支承板（两边相邻边支承板）：

$$M = \alpha\sigma a_2^2 \tag{10-54}$$

a_2——计算区段内板的自由边长度，对于直角边支承板应按表 10-5 中图示确定；

β——与 b_2/a_2 有关的系数，按表 10-5 选用。

对于简支板：

$$M = \frac{1}{8}\sigma a_3^2 \tag{10-55}$$

a_3——简支板的跨度。

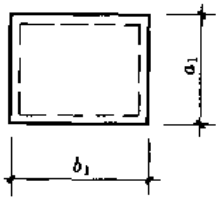
对于悬臂板：

$$M = \frac{1}{2}\sigma a_4^2 \tag{10-56}$$

a_4——底板的悬臂长度。

系 数 β 值 **表 10-4**

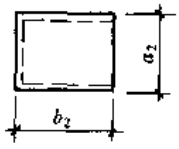
四边支承板



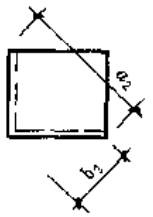
b_1/a_1	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45
β	0.048	0.052	0.055	0.059	0.063	0.066	0.069	0.072	0.075	0.078
b_1/a_1	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.90	2.00	> 2.00
β	0.081	0.084	0.086	0.089	0.091	0.093	0.095	0.099	0.102	0.125

系 数 α 值 **表 10-5**

（a）三边支承板



（b）两相邻边支承板



b_2/a_2	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
α	0.027	0.036	0.044	0.052	0.060	0.068	0.075	0.081	0.087	0.092	0.097	0.101
b_2/a_2	0.90	0.95	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.75	2.00	> 2.00	
α	0.105	0.109	0.112	0.117	0.121	0.124	0.126	0.128	0.130	0.132	0.133	

注：当 $b_2/a_2 < 0.3$ 时，按悬伸长度为 b_2 的悬臂板计算。

2）柱脚靴板的内力计算根据其所承担底板区域内的基础反力进行。当为分离式柱脚时（图 10-35），靴板按悬臂梁计算内力；当为整体式柱脚时（图 10-36），靴板按双悬臂梁

计算，如图 10-36（b）所示。在计算靴板截面强度时，一般只考虑靴板本身而不考虑上、下加劲板或底板的作用。其计算公式为：

抗弯强度：

$$\sigma = \frac{6M}{t^2} \leqslant f \tag{10-57}$$

抗剪强度：

$$\tau = \frac{1.5V}{th} \leqslant f_v \tag{10-58}$$

式中　M、V——靴板的最大弯矩和剪力；

t——靴板的厚度；

h——靴板的高度。

3）柱脚靴板的连接焊缝应按下列要求确定。

A. 柱脚与靴板的连接焊缝，当靴板与柱翼缘板采用对接连接时，应采用等强度剖口对接焊缝而不必进行计算，此时，靴板与柱肢腹板的焊缝厚度可按柱脚腹板与其翼缘连接焊缝厚度加 2～4mm 而不必计算。

当靴板用角焊缝连接于偏心受压柱翼缘外侧时，应按柱最大压力和最大拉力两者中的较大者计算焊缝强度。可能产生的最大拉力可近似地取锚栓的拉力计算，最大压力可按以下原则确定：如果柱底部采用铣平顶紧方式传递压力时，应按所承担区域的基础反力计算；如果柱不采用铣平端传力时，则按柱传给基础的全部内力计算。

B. 靴板及柱肢与底板的连接焊缝，当柱不采用铣平端传力时，应按柱传给基础的全部内力进行计算，当柱采用铣平端传力时，可按柱传给基础的全部内力的 15% 或最大剪力中的较大值进行计算。

4）柱脚加劲隔板及加劲板，应根据其所承担区域的基础反力及构造情况，近似地按简支梁或悬臂梁计算截面强度和连接焊缝，并按本条（2）款和（3）款的要求和所列公式进行计算。

5）柱脚锚栓的计算

A. 格构式柱的分离式柱脚，其每一分肢可需的锚栓的总有效面积可按下式计算：

$$A_e \geqslant \frac{N_{max}}{f_t^a} \tag{10-59}$$

式中　N_{max}——柱每一分肢可能产生的最大拉力的较大者，即取 N_a 及 N_b 中较大者，N_a 和 N_b 可按下列公式计算：（图 10-16）

$$N_a = -\frac{Ny_2}{h} + \frac{M}{h}（分肢 1 拉力） \tag{10-60}$$

$$N_b = -\frac{N'y_1}{h} + \frac{M'}{h}（分肢 2 拉力） \tag{10-61}$$

M、M'——为使分肢 1 和分肢 2 受拉时，柱的最不利荷载组合所得的弯矩；

N、N'——与 M、M' 相应荷载组合的轴心力。

y_1、y_2 和 h 可按图 10-16 确定。

f_t^a——锚栓抗拉强度设计值，按表 2-4 采用。

B. 整体式柱脚每侧（受拉区）所需的锚栓总有效面积应根据柱脚底板下混凝土基础反力的分布情况按下式计算（图 10-37）：

$$A_e \geqslant \frac{M - Na}{f_t^a x} \tag{10-62}$$

式中 M、N——柱脚底面在柱截面形心轴处所受的弯矩和轴心力，应取使锚栓承受最大拉力时的荷载组合内力；

a——由柱截面形心轴至柱脚底面受压区压力合力线之间的距离；

x——由锚栓轴线到柱脚底受压区压力合力线之间的距离。

若按公式（10-62）计算所得的锚栓直径 > 60mm 时，则宜考虑锚栓与混凝土基础的弹性性质。此时假设基础受力变形后仍保持平面，可由图 10-38 列出下列公式：

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{n(l - y)}{y} \tag{10-63}$$

由竖向力平衡条件

$$\frac{1}{2}\sigma_2 By = \sigma_1 A_a + N \tag{10-64}$$

由力矩平衡条件

$$\sigma_1 A_e\left(l - \frac{y}{3}\right) = M - Na \tag{10-65}$$

式中 σ_1、σ_2——锚栓的拉应力和受压区混凝土的最大边缘压应力；

n——钢与混凝土的弹性模量之比 $\frac{Es}{Ec}$；

B——柱脚底板的宽度；

y 和 l 按图 10-38 确定。

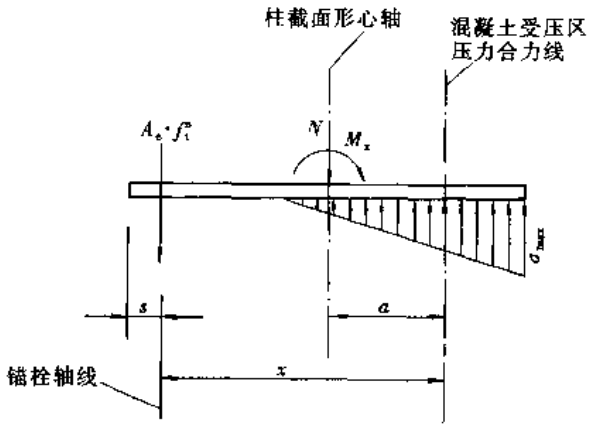


图 10-37 锚栓计算简图之一

由公式（10-63）～（10-65）并取 $\sigma_1 = f_t^a$ 可求解 y、σ_2 和 A_e。但采用此法求得的混凝土边缘压应力 σ_2 应小于基础混凝土局部抗压强度设计值 βf_c，且应以此应力作为基础反力来计算底板的厚度。

锚栓的有效面积确定后，锚栓的直径、锚固长度及锚栓的细部尺寸及构造可按表 10-6 和表 10-7 选用。

6）柱脚的构造

A. 柱脚形式有整体式和分离式两种，格构式柱的分离式柱脚，一般可采用图 10-35 所示的形式。

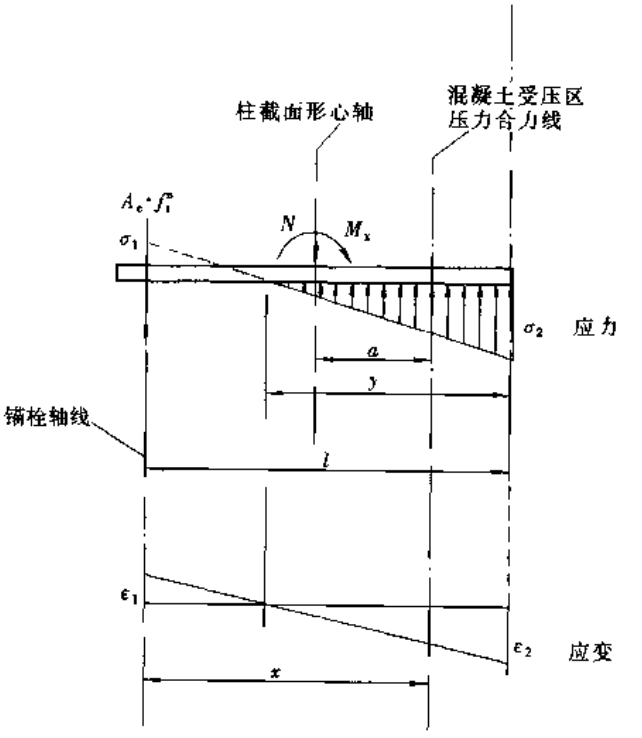


图 10-38 锚栓计算简图之二

Q235 钢锚栓选用表 表 10-6

锚栓直径 d (mm)	锚栓截面有效面积 A_e (cm^2)	连接尺寸				锚固长度及细部尺寸								每个锚栓的受拉承载力设计值 N_t^a (kN)
		垫板顶面标高 a b 基础顶面标高				Ⅰ型 a b l d 4d		Ⅱ型 a b d l 16~20 3d 3d		Ⅲ型 a b d l 20~50 0.7c c c				
		单螺母		双螺母		锚固长度 l(mm)						锚板尺寸		
						当基础混凝土的强度等级为								
		a (mm)	b (mm)	a (mm)	b (mm)	C15	C20	C15	C20	C15	C20	c (mm)	t (mm)	
20	2.448	45	75	60	90	500	400							34.3
22	3.034	45	75	65	95	550	440							42.5
24	3.525	50	80	70	100	600	480							49.4
27	4.594	50	80	75	105	675	540							64.3
30	5.606	55	85	80	110	750	600							78.5
33	6.936	55	90	85	120	825	660							97.1
36	8.167	60	95	90	125	900	720							114.3
39	9.758	65	100	95	130	1000	780							136.6
42	11.21	70	105	100	135			1050	840	630	505	140	20	156.9
45	13.06	75	110	105	140			1125	900	675	540	140	20	182.8
48	14.73	80	120	110	150			1200	960	720	575	200	20	206.2
52	17.58	85	125	120	160			1300	1040	780	625	200	20	246.1
56	20.30	90	130	130	170			1400	1120	840	670	200	20	284.2
60	23.62	95	135	140	180			1500	1200	900	720	240	25	330.7
64	26.76	100	145	150	195			1600	1280	960	770	240	25	374.6
68	30.55	105	150	160	205			1700	1360	1020	815	280	30	427.7
72	34.60	110	155	170	215			1800	1440	1080	865	280	30	484.4
76	38.89	115	160	180	225			1900	1520	1140	910	320	30	544.5
80	43.44	120	165	190	235			2000	1600	1200	960	350	40	608.2
85	49.48	130	180	200	250			2125	1700	1275	1020	350	40	692.7
90	55.91	140	190	210	260			2250	1800	1350	1080	400	40	782.7
95	62.73	150	200	220	270			2375	1900	1425	1140	450	45	878.2
100	69.95	160	210	230	280			2500	2000	1500	1200	500	45	979.3

Q345钢锚栓选用表

表 10-7

锚栓直径 d (mm)	锚栓截面有效面积 A_e (cm^2)	连接尺寸				锚固长度及细部尺寸								每个锚栓的受拉承载力设计值 N_t^a (kN)
		垫板顶面标高 a b 基础顶面标高				Ⅰ型 a b d l 4d		Ⅱ型 a b d l 16~20 3d 3d		Ⅲ型 a b d l 20~50 0.7c c c				
		单螺母		双螺母		锚固长度 l(mm) 当基础混凝土的强度等级为						锚板尺寸		
		a (mm)	b (mm)	a (mm)	b (mm)	C15	C20	C15	C20	C15	C20	c (mm)	t (mm)	
20	2.448	45	75	60	90	600	500							44.1
22	3.034	45	75	65	95	660	550							54.6
24	3.525	50	80	70	100	720	600							63.5
27	4.594	50	80	75	105	810	675							82.7
30	5.606	55	85	80	110	900	750							100.9
33	6.936	55	90	85	120	990	625							124.8
36	8.167	60	95	90	125	1080	900							147.0
39	9.758	65	100	95	130	1170	1000							175.6
42	11.21	70	105	100	135			1260	1050	755	630	140	20	201.8
45	13.06	75	110	105	140			1350	1125	810	675	140	20	235.1
48	14.73	80	120	110	150			1440	1200	865	720	200	20	265.1
52	17.58	85	125	120	160			1560	1300	935	780	200	20	316.4
56	20.30	90	130	130	170			1680	1400	1010	840	200	20	365.4
60	23.62	95	135	140	180			1800	1500	1080	900	240	25	425.2
64	26.76	100	145	150	195			1920	1600	1150	960	240	25	481.7
68	30.55	105	150	160	205			2040	1700	1225	1020	280	30	549.9
72	34.60	110	155	170	215			2160	1800	1300	1080	280	30	622.8
76	38.89	115	160	180	225			2280	1900	1370	1140	320	30	700.0
80	43.44	120	165	190	235			2400	2000	1440	1200	350	40	781.9
85	49.48	130	180	200	250			2550	2125	1530	1275	350	40	890.6
90	55.91	140	190	210	260			2700	2250	1620	1350	400	40	1006
95	62.73	150	200	220	270			2850	2375	1710	1425	450	45	1129
100	69.95	160	210	230	280			3000	2500	1800	1500	500	45	1259

B. 分离式柱脚的靴板是柱肢翼缘的扩大板，可与柱肢翼缘板对接连接，也可贴焊于柱肢的两侧（对于屋盖肢），如图 10-35 所示，以加大柱肢底板的承压面积。靴板的宽度，其上部取与柱肢翼缘同样宽度，下部取与柱底板同样宽度。靴板的厚度取与柱肢翼缘板厚度相同或适当加厚。

C. 隔板及加劲板用来加强靴板和柱腹板的刚性，减小底板的计算长度，以改善底板的受力状况。其厚度按计算确定，一般采用的厚度 $t \geqslant \frac{b}{50}$（b 为靴板的跨长），且不宜小于 10mm。

D. 柱脚锚栓承受排架柱弯矩在柱脚底板与基础间产生的拉力，同时作为安装过程中的临时固定柱之用。锚栓的直径可由计算确定，但不宜小于 ϕ36。为了柱安装与调整方便，锚栓一般固定在柱脚外挑的支承托座上，而不穿过柱脚底板，此时，应在锚栓支承托座上开缺口，以便于柱的安装就位。锚栓支承托座的高度应按锚栓受拉所需要的焊缝长度来确定，一般不宜小于 400mm 高。支承托座顶板的厚度根据锚栓荷载大小来确定，一般取 20～40mm，支承加劲肋的厚度不宜小于 12mm，柱脚锚栓不宜用于承受柱脚底部的水平剪力，此水平剪力应由底板与混凝土之间的摩擦力（摩擦系数取 0.4）或设置抗剪键来承受。

E. 柱脚底板的尺寸和厚度应按本条 1.1）款的要求计算确定，同时尚应满足构造上的需要，一般底板厚度不得小于 20mm。对于等截面轻型柱脚的底板，如图 10-33 所示，底板的尺寸，除了按计算确定外，还要满足构造要求。如锚栓轴线至底板边缘的距离 s，不得小于 $2d$（d 为锚栓直径）；锚栓的间距不得小于 $3d$。柱肢外边至锚栓轴线之间的净空距离 a_0：当锚栓直径小于 30mm 时 a_0 不得小于 40mm；当锚栓直径 30～50mm 时，a_0 不得小于 60mm。柱肢外边至底板边缘的距离一般不得小于 20mm。

F. 整体式柱脚如图 10-34、图 10-36 所示，当为实腹式柱且荷载较小时，采用单壁式轻型柱脚，为了加强柱脚刚度并减小底板厚度，应焊以加劲肋以减小底板跨度。对于重型厂房格构式柱的整体式柱脚（图 10-36），由于受力较大，柱截面也大，因此靴板与柱翼缘板应采用剖口对接焊缝，靴板顶部外侧应设置水平加劲板，且在两块靴板间设置加劲隔板，以加强柱脚整体刚度和改善底板的工作。

2. 埋入式（或插入式）柱脚（图 10-10c、d）

（1）埋入式柱脚是预先将钢柱底脚按设计要求面定在基础中，设置钢筋，然后浇灌基础混凝土，插入式柱脚是在基础上预先留出安装钢柱底脚插入用的杯口，待钢柱安装后再用高标号细石混凝土填实杯口。埋入式或插入式柱脚的内力（包括竖向力、水平力和弯矩）均由钢筋混凝土基础直接承受，钢柱底脚只要具有足够的埋入深度即可。表 10-8 列出埋入式或插入式柱脚埋入混凝土基础的最小深度 d。

钢柱埋入基础（插入杯口）最小深度 d　　表 10-8

柱截面形式	实腹式柱	格构式柱（单杯口或双杯口）
最小埋入（插入）深度 d	$1.5h_c$ 或 $1.5d_c$	$0.5h_c$ 和 $1.5b_c$（或 d_c 较大值）

注：1. h_c—柱截面高度（长边尺寸）；b_c—柱截面宽度；d_c—圆管柱的外径。

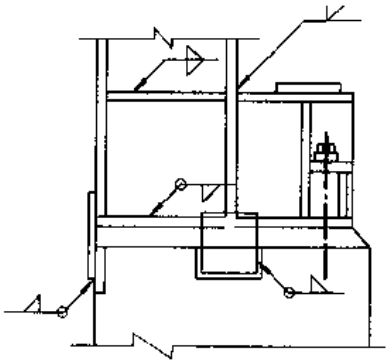
2. 钢柱底端至基础杯口底的距离，一般采用 50mm，当有柱底板时，可采用 200mm。

（2）埋入（插入）式柱脚的计算，可按以下假设进行：

1）钢柱的轴心压力 N 是由埋入（插入）的钢柱底板直接传递到钢筋混凝土基础上；

2）柱脚处的弯矩 M 由埋入钢柱的翼缘与混凝土基础的承压力来传递给基础，或者由埋入部分钢柱上的抗剪焊钉来传递；

3）柱脚的剪力 V 由埋入钢柱的翼缘与基础混凝土的承压力来传递。



3. 外包式柱脚（图 10-10e）

外包式柱脚的钢筋混凝土包脚的高度、截面尺寸和钢筋的配置，要按柱脚的内力和钢柱截面的大小来确定。这种柱脚在单层房屋中很少采用。

4. 埋入式柱脚和外包式柱脚的混凝土保护层厚度均不应小于 180mm，钢柱埋入部分和外包部分均宜在柱翼缘上设置圆头焊钉，其直径不得小于 16mm，其水平向和竖向的中心距离不得大于 200mm。

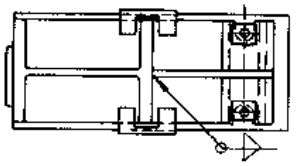


图 10-39 组合柱拼接接头（一）

10.2.9 组合式柱和分离式柱的构造和计算要点

1. 组合柱的构造与计算要点

由钢和钢筋混凝土组成的组合柱，其上部实腹式柱的构造要求及计算方法与阶形柱的实腹式上柱相同。钢上柱和钢筋混凝土下段柱的连接可按不同情况采用图 10-39、图 10-40所示的形式。在现场安装钢上柱前，应将钢筋混凝土下段柱柱顶用 C40 细石混凝土找平，找平层厚约 30mm，内锚设 ϕ6 钢筋网一层并留出 20～30mm 空隙作为二次灌浆层，待校正标高和定位后，用高标号膨胀水泥砂浆或不收缩水泥砂浆填实。在连接处，因弯矩产生的拉力由锚栓承受，其计算按第 10.2.8 条 1.5）款的规定进行。在连接处的剪力一般由上柱轴心力在连接处所产生的摩擦力予以平衡。为加强连接处的刚度和增加安全储备起见，可在连接处四周用钢板或角钢与钢筋混凝土下柱侧面

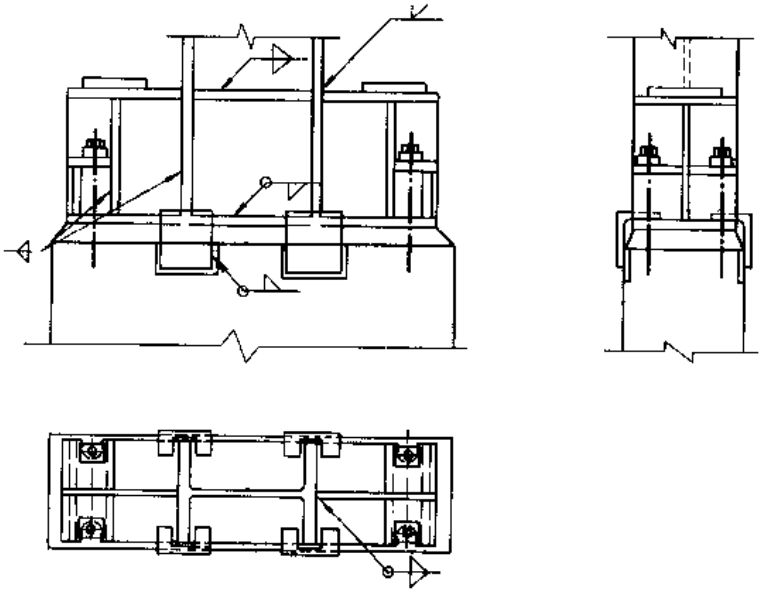


图 10-40 组合柱拼接接头（二）

的预埋钢板焊牢，如图 10-39、图10-40所示。如采用轻型屋面，因上段柱的竖向荷载小而水平剪力较大，由竖向荷载所产生的摩擦力不能平衡时，则应设置抗剪角钢来承担水平剪力。

2. 分离式柱的构造和计算要点

分离式柱的屋盖肢和吊车肢在竖向荷载下各自单独受力，两肢间以水平钢板连接，并作为吊车肢的侧向支点。水平板的板厚一般取 8～12mm，其间距应根据吊车肢在排架平面内的长细比与平面外的长细比相等的条件来确定。

分离式柱的屋盖肢承受屋面荷载、风荷载和吊车水平荷载，按压弯构件计算。当计算排架平面内的稳定性时，不考虑独立吊车肢的作用，其具体计算应根据屋盖肢的形式或按等截面柱（图 10-3*a*）或阶形柱（图 10-3*b*）考虑。当计算屋盖肢在排架平面外的稳定性时，对于下段柱可考虑独立吊车肢的共同作用，即计算排架平面外的截面特性时，可将吊车肢截面计入。

分离式柱的独立吊车肢仅承受吊车的竖向荷载，当其顶部支承的吊车梁为平板式支座时，则应考虑相邻两吊车梁反力差的偏心影响，可按第 10.2.3 条 1 款（4）和（5）的要求，按压弯构件计算其强度和稳定性。

10.3　柱　间　支　撑

10.3.1　柱间支撑的作用和形式

1. 为确保房屋承重结构的正常工作，一般需要沿房屋纵向柱之间设置柱间支撑，其作用是：

（1）用以保证房屋的纵向稳定和空间刚度；

（2）确定柱在排架平面外的计算长度；

（3）承受房屋端部山墙风力、吊车纵向刹车荷载、温度应力和地震作用，并将上述荷载传至基础上。

2. 柱间支撑由以下各部分组成：

（1）在吊车梁以上至屋架下弦间设置的上段柱的柱间支撑，以及当为双阶柱时，上下两层吊车梁之间设置的中段柱的柱间支撑；

（2）在吊车梁以下至柱脚处设置的下段柱的柱间支撑；

（3）屋架端部的垂直支撑和屋架端部上下弦标高处的纵向系杆、吊车梁、辅助桁架以及柱本身等都是柱间支撑体系的组成部分，如图 10-41 所示。

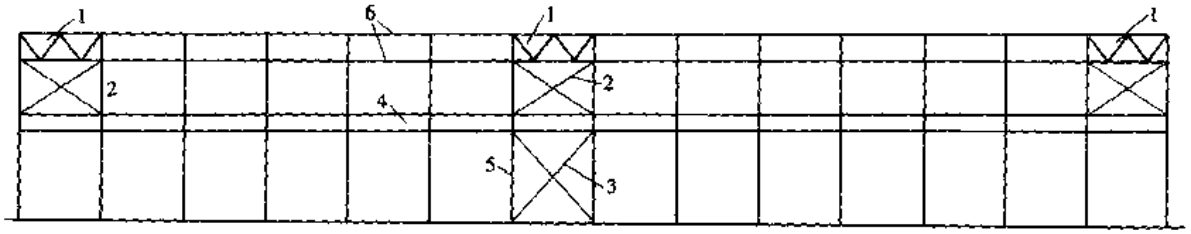


图 10-41　柱间支撑的组成

1—屋架端部垂直支撑；2—上段柱间支撑；3—下段柱间支撑；
4—吊车梁（或辅助桁架）；5—柱；6—屋架端部上、下弦水平系杆

3. 柱间支撑的形式主要有下列四种：

（1）十字形交叉支撑，如图 10-42（d）所示，这种支撑由于传力直接，构造简单，用料较省，刚度也大，因此是常用的一种形式。

（2）空腹式门形支撑，如图 10-42（a）、（b）、（c）所示。这种支撑用料较多，刚度也较差，只有在特殊需要时（如该处要设门洞或放设备）才采用。

（3）八字形支撑，如图 10-42（a）、（b）所示。对于上柱，当柱距 l 与柱间支撑的高度 h_1 之比大于 2.5 时，可采用这种支撑

（4）人字形支撑，如图 10-42（c）所示。对于上柱，当柱距 l 与柱间支撑的高度 h_1 之比大于 2 时，可采用这种支撑。

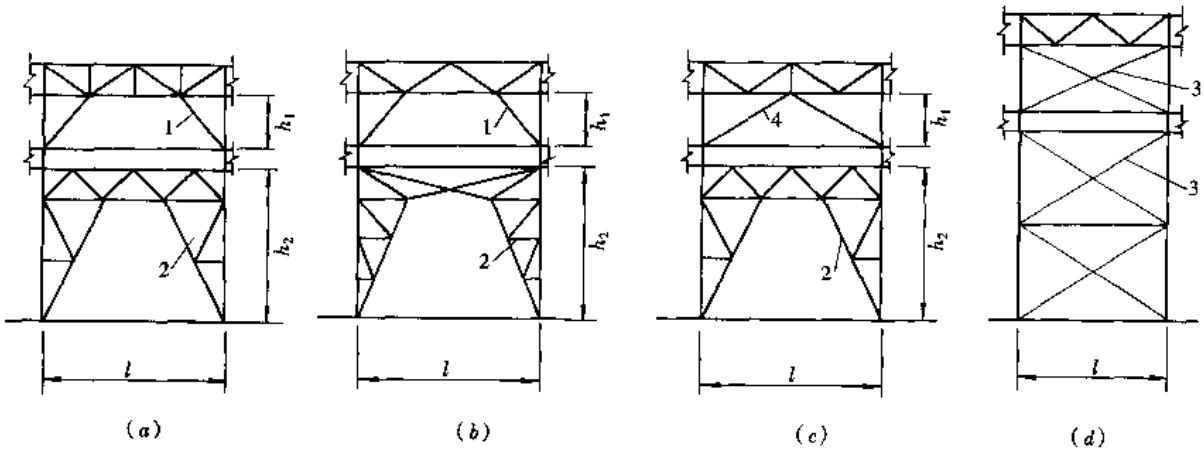


图 10-42 柱间支撑的形式

1—八字形支撑；2—空腹式门形支撑；3—十字形交叉支撑；4—人字形支撑

10.3.2 柱间支撑布置的原则

1. 布置柱间支撑时应满足下列要求：

（1）应满足房屋生产净空的要求；

（2）应满足房屋纵向刚度的要求，同时还应考虑柱间支撑的设置对房屋结构温度变形的影响，及由此产生的附加应力；

（3）柱间支撑的设置应与屋盖支撑布置相协调，一般均与屋盖上、下弦横向支撑及垂直支撑设在同一柱距内；

（4）每一温度区段的每一列柱，一般均应设置柱间支撑。

2. 下段柱的柱间支撑位置，决定纵向结构温度变形和附加温度应力的大小，因此应尽可能设在温度区段的中部，这样可以减少温度变形的问题。当温度区段长度不大时，可在温度区段中部设置一道下段柱柱间支撑，如图 10-41 所示。当温度区段大于 120m 时，可在温度区段内设置两道下段柱柱间支撑，其位置宜布置在温度区段中间三分之一范围内，两道支撑的中心距离不宜大于 60m，如图 10-43 所示，以减少由此而产生的温度应力。

3. 上段柱的柱间支撑，除在有下段柱柱间支撑的柱距间布置外，为了传递端部山墙风力及地震作用和提高房屋结构上部的纵向刚度，应在温度区段两端设置上段柱柱间支撑，如图 10-41 和 10-43 所示。温度区段两端的上柱柱间支撑对温度应力的影响较小，可忽略不计。

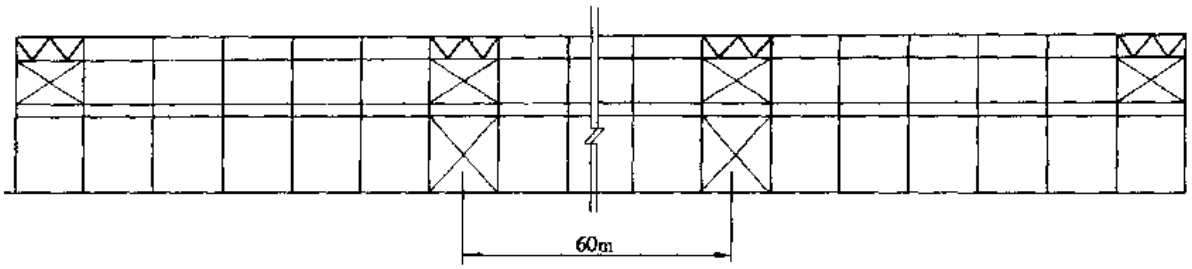


图 10-43　柱间支撑布置图

4. 阶形柱的下段柱柱间支撑，一般在两个柱肢内成对设置，即为双片支撑。当为等截面柱且截面高度小于或等于600mm时，可沿柱中心线设置单片支撑（图 10-44*a*），截面较大时宜设置双片支撑，如图 10-44（*b*）（*c*）所示。

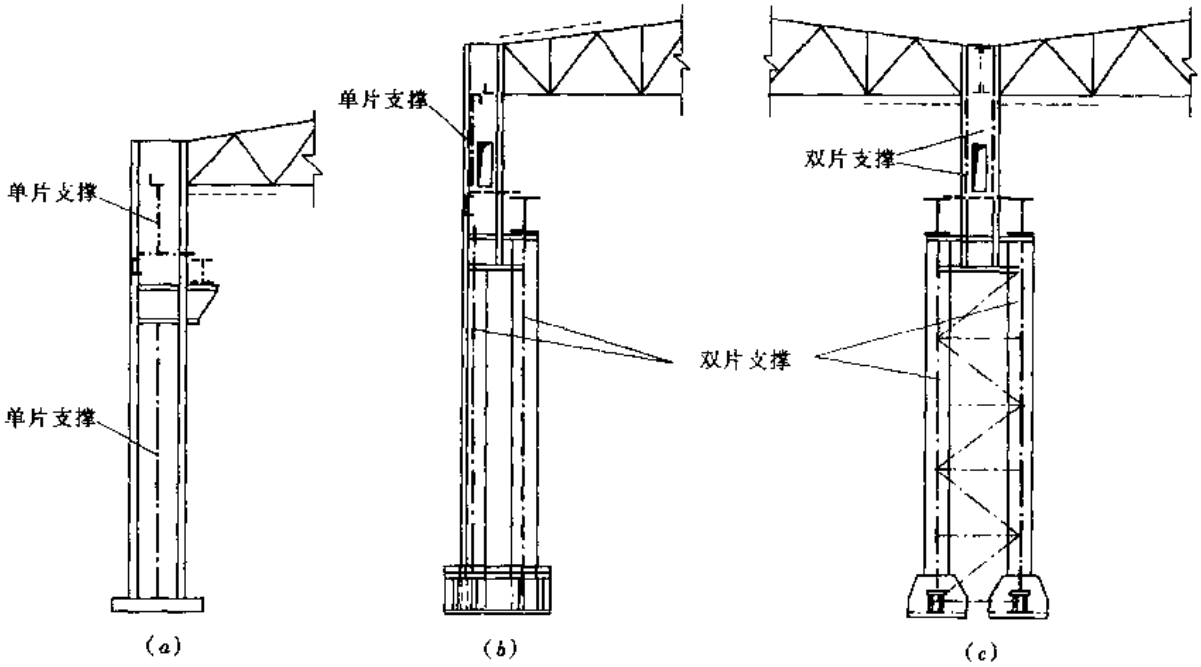


图 10-44　柱间支撑在柱侧向的位置图

5. 阶形柱上柱柱间支撑在柱侧向的位置，当上段柱的截面高度≤1000mm时，一般设单片支撑，并沿柱中心设置，当有支承屋架的托架时，支撑位置应与托架位置相适应。如上段柱设有人孔且只设单片支撑时，应考虑让开人孔通道而将支撑偏向一侧，如图 10-44（*b*）所示。当上段柱的截面高度大于1000mm时，或在上段柱设有人孔而纵向刚度要求较高时，则可设置双片支撑，如图 10-44（*c*）所示。此时，支撑构件肢应向柱的两翼缘内侧设置，以免影响柱与吊车桥架之间的净空尺寸。

10.3.3　柱间支撑的截面形式和计算

1. 柱间支撑的截面形式

（1）柱间支撑的截面形式，当采用单片支撑时，由于平面外的计算长度大于平面内的计算长度，所以一般采用单个不等边角钢，短边与柱相连，如图 10-45（*a*）所示，或采用两个角钢组成T形截

图 10-45　单片支撑的截面形式

面，如图 10-45（b）所示。

（2）当采用双片支撑时，两单片支撑间应以连系杆连接。当支撑平面内的计算长度大于平面外的计算长度时，一般采用不等边角钢长边与柱相连或采用两个等边角钢组成的截面，如图 10-46（a）、（b）所示。当支撑内力较大时，可采用工字钢或槽钢组成的截面，如图 10-46（c）、（d）所示。

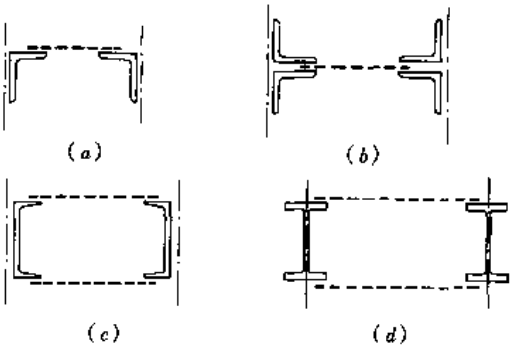


图 10-46 双片支撑的截面形式

2. 柱间支撑的计算

（1）柱间支撑的截面大小可由计算确定，并应验算其长细比，当吊车起重量及风荷载都不大时，一般是由长细比来决定支撑的截面。柱间支撑的长细比不应超过表 10-9 的数值。

柱间支撑杆件的容许长细比　　表 10-9

构件名称	容许长细比		
	压杆	拉杆	
		有重级工作制吊车的厂房	有轻、中级工作制吊车的厂房
吊车梁以下的柱间支撑	150	200	300
吊车梁以上的柱间支撑	200	350	400

（2）柱间支撑杆件的长细比可按下式计算：

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \leqslant [\lambda] \tag{10-66}$$

式中 l_0——支撑杆件的计算长度，可按第 3.2.5 条 2. 款的规定采用；

i——支撑杆件的回转半径，当计算单角钢受拉杆件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径；但在计算单角钢交叉受拉构件平面外的细长比时，应采用与角钢肢平行轴的回转半径。

对于双片支撑除应按公式（10-66）计算长细比外，还应按第 3 章中表 3-18 中的公式计算组合构件平面外的换算长细比，并不得超过容许长细比。

（3）作用于柱间支撑的厂房纵向水平荷载，可按下述原则确定：

1）纵向风荷载：由房屋两端山墙和天窗架端壁传来的集中风荷载 W，当房屋有伸缩缝时，则为房屋一端山墙和天窗架端壁传来的集中风荷载 W，并应根据山墙结构包括抗风柱和抗风桁架的布置，按现行荷载规范的规定，分别计算作用在屋架下弦端支座处的风荷载 W_1，作用在吊车梁顶面处的风荷载 W_2。

2）吊车的纵向水平荷载标准值 T_d 可按下式计算：

$$T_d = 0.1\Sigma P_{max} \tag{10-67}$$

式中 ΣP_{max}——在同一柱列吊车梁上由两台起重量最大的吊车所有刹车轮（一般每台吊车的刹车轮数可取吊车一侧轮数的一半）的最大轮压之和。

3）作用在房屋纵向的其他水平荷载，如固定于柱上的纵向管道设备的推力等，应按实际情况进行计算。

（4）上段柱的柱间支撑承受作用于屋盖下弦标高处的集中风荷载 W_1 及其他水平荷载 H。下段柱的柱间支撑，除承受作用于吊车梁上翼缘顶面标高处的吊车纵向水平荷载 T_d 及集中风荷载 W_2 或 W_3（双阶柱）外，还要承受由上段柱柱间支撑传来的水平荷载。在计算支撑内力时，一般都假设节点为铰接，并忽略偏心影响，当在同一温度区段内的同一柱列设有两道以上柱间支撑时，则该柱列的全部纵向水平荷载由柱列所有支撑共同承担。

（5）十字交叉支撑，一般可按受拉杆件设计，即仅考虑其中一根杆件受拉，其计算简图见图 10-47。

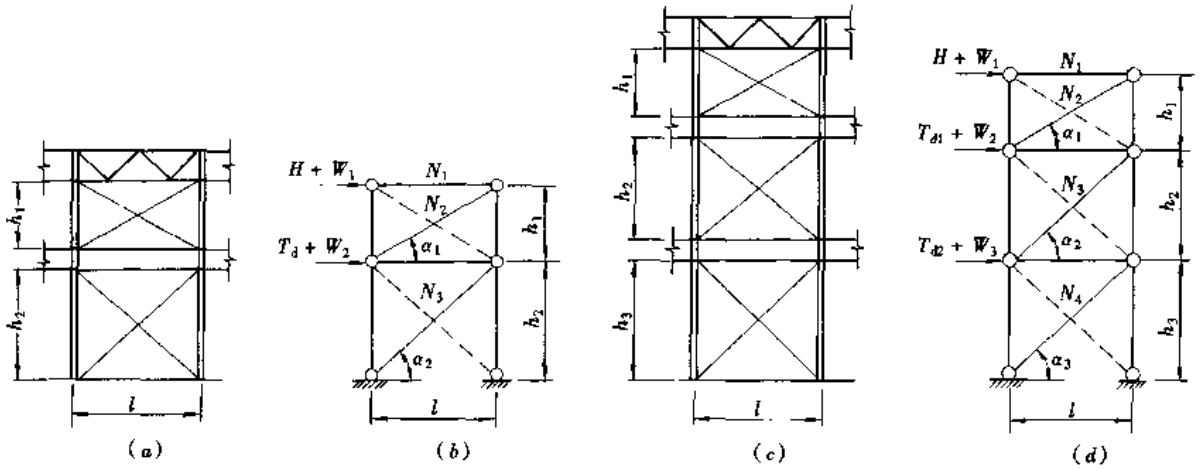


图 10-47　十字形交叉支撑简图

（a）单阶柱柱间支撑；（b）单阶柱柱间支撑计算简图；

（c）双阶柱柱间支撑；（d）双阶柱柱间支撑计算简图

十字形交叉支撑的内力应分别按下述情况确定：

1）单阶柱的支撑内力（图 10-47b），可按下式计算：

柱顶系杆　$$N_1 = H + W_1 \tag{10-68}$$

上段柱支撑斜杆　$$N_2 = (H + W_1)/\cos\alpha_1 \tag{10-69}$$

下段柱支撑斜杆　$$N_3 = (H + W_1 + T_d + W_2)/\cos\alpha_2 \tag{10-70}$$

2）双阶柱的支撑内力（图 10-47d），可按下式计算：

柱顶系杆　$$N_1 = H + W_1 \tag{10-71}$$

上段柱支撑杆件　$$N_2 = (H + W_1)/\cos\alpha_1 \tag{10-72}$$

中段柱支撑杆件　$$N_3 = (H + W_1 + T_{d1} + W_2)/\cos\alpha_2 \tag{10-73}$$

下段柱支撑杆件　$$N_4 = (H + W_1 + W_2 + W_3 + T_{d1} + T_{d2})/\cos\alpha_3 \tag{10-74}$$

（6）空腹式门形支撑的内力，可按下列要求进行计算：

1）对于图 10-48 所示的空腹式门形支撑，其支座反力可按下列公式计算：

$$V_1 = -V_2 = (H + W_1 + W_2 + T)h/l \tag{10-75}$$

$$H_1 = P = H + W_1 + W_2 + T_d \tag{10-76}$$

2）对于图 10-49 所示的空腹式门形支撑，其支座反力可按下列公式计算：

$$H_1 = H_2 = (H + W_1 + W_2 + W_3 + T_1 + T_2)/2 \tag{10-77}$$

$$V_1 = -V_2 = (H + W_1 + W_2 + W_3 + T_1 + T_2)h/l \tag{10-78}$$

算出支座反力后用结构力学方法按平面桁架计算门形支撑各杆件的内力。

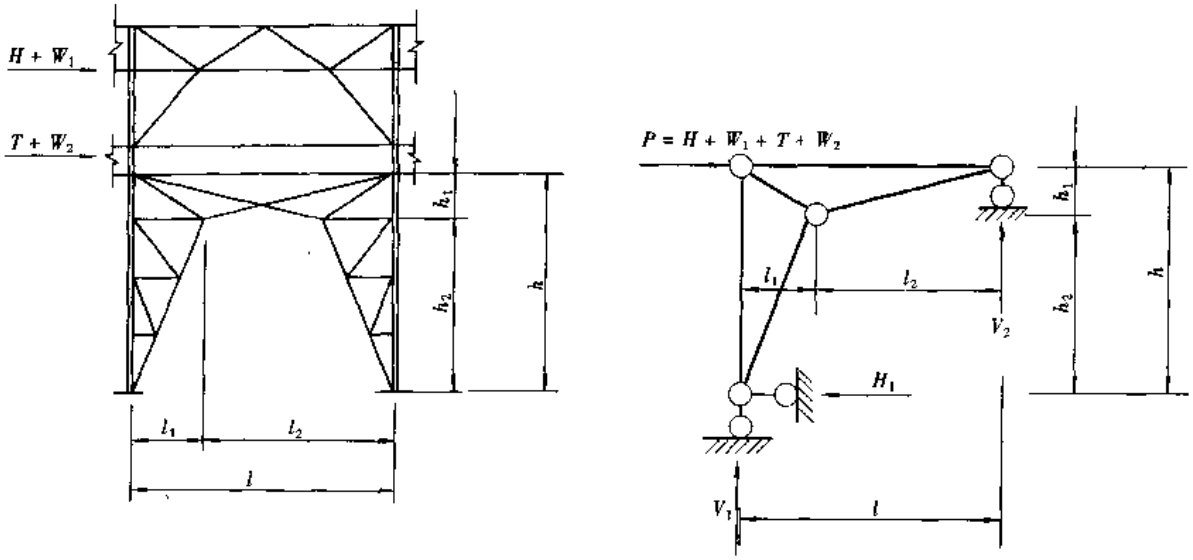


图 10-48 空腹式门形支撑计算简图之一

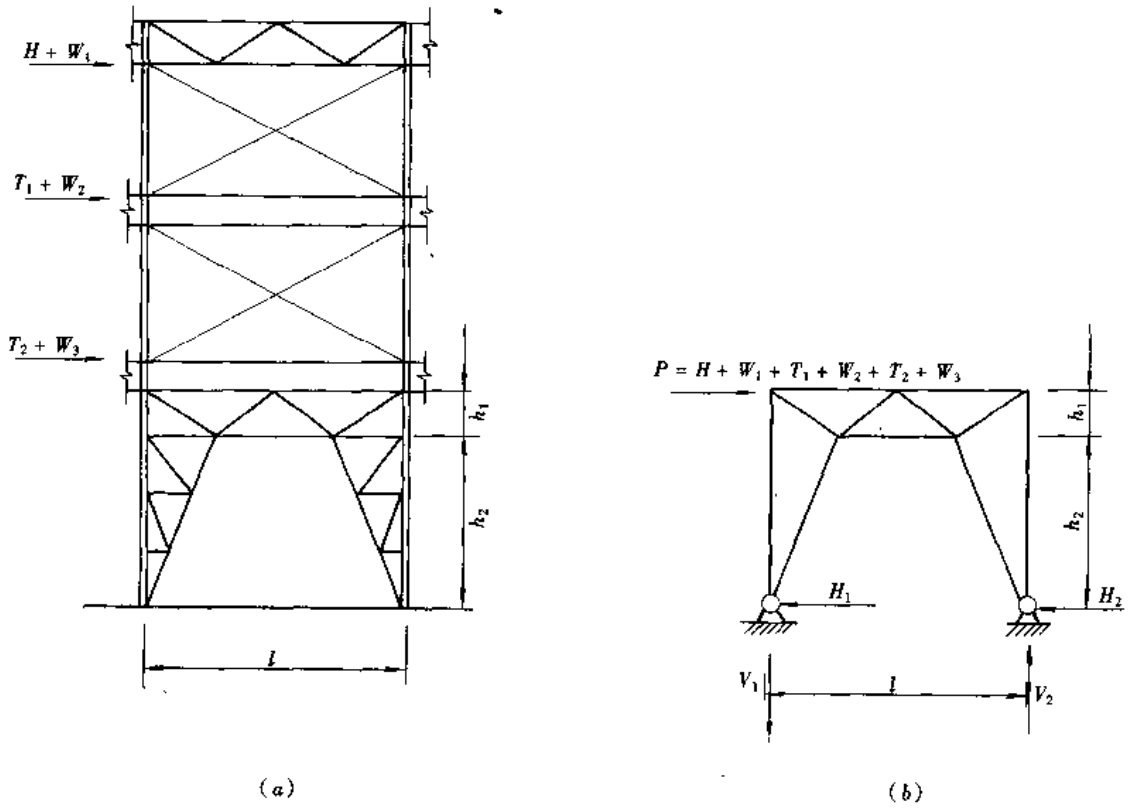


图 10-49 空腹式门形支撑计算简图之二

(7) 当上段柱的柱间支撑采用八字形支撑时（图 10-50a），一般按受拉杆件设计，其支撑斜杆内力为：

$$N = (H + W_1)/\cos\alpha \tag{10-79}$$

当上段柱的柱间支撑采用人字形支撑时（图10-50*b*），其杆件内力可近似地按图10-50（*c*）所示的计算简图进行计算，并按受压杆件设计。

（8）支撑杆件的强度和稳定性应按第3章表3-16中的公式进行计算。

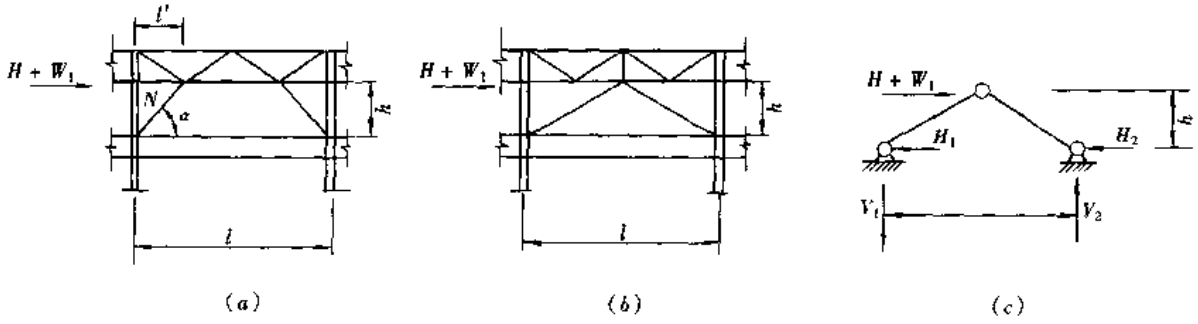


图10-50　八字形支撑和人字形支撑计算简图

10.3.4　柱间支撑的构造和连接

1. 双片支撑的连系杆可为横杆式（当两片支撑之间的距离≤600mm时）或斜杆式（当两片支撑之间的距离>600mm时），如图10-51所示。连系杆与支撑杆件交点之间的距离 l_a 应满足下列要求：

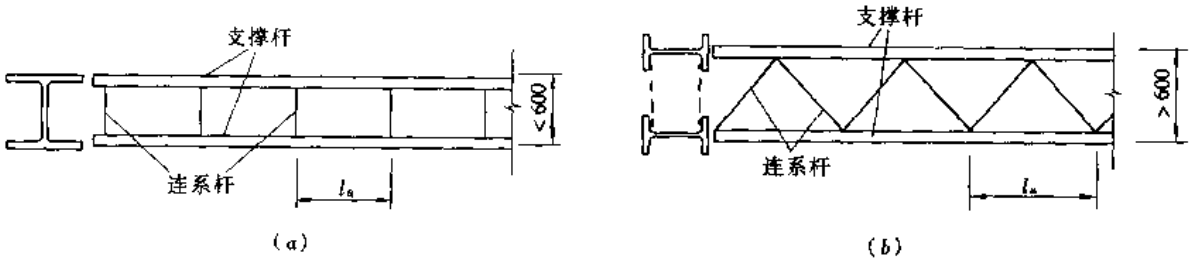


图10-51　双片支撑的连系杆布置

（*a*）横杆式；（*b*）斜杆式

1）当支撑为压杆时：$l_a \leqslant 40i$

2）当支撑为拉杆时：$l_a \leqslant 80i$

其中 i 为支撑杆件的回转半径，可按第3章第3.2.2条3.（1）和（2）款的规定选用。

2. 十字形交叉支撑的斜杆倾角一般采用35°～55°，中间连接节点见图10-52所示。

3. 支撑节点板的厚度和尺寸可按强度计算和构造要求确定，在一般情况下，其厚度可参照表10-10或表7.2-3选用。也可按公式（7.2-11）～（7.2～16）计算确定。

支撑节点板厚度选用表　　**表10-10**

支撑最大内力（kN）	≤160	161～300	301～500	501～700
节点板厚度（mm）	8	10	12	14

注：表中钢材为Q235钢

4. 支撑与柱的连接，一般采用安装螺栓加工地焊缝连接，也可用高强度螺栓连接，当采用工地焊缝连接时，焊缝厚度及长度应按计算确定，但焊缝厚度不应小于6mm，长度

不应小于 80mm。为安装就位方便，在安装节点处的每一支撑杆的端部都应设有两个安装螺栓，其直径不宜小于 16mm，支撑连接节点图例见图 10-53 ~ 10-55 所示。

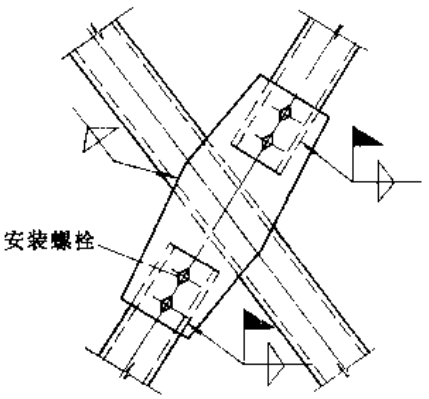


图 10-52 柱间支撑中间节点

5. 设有吊车的厂房纵向水平力是由吊车梁等纵向构件通过柱传至柱间支撑后再传至基础的，因此，位于柱间支撑处的吊车梁与柱的连接应能传递此项水平力，一般可采用焊缝连接，如图 10-54，10-55所示。其中柱与吊车梁连接所需的焊缝或高强度螺栓均应由计算确定。荷载设计值按第 10.3.3 条 2. 款的规定采用。当吊车起重量较大或风荷载很大的厂房，由上部竖向荷载所产生的在柱脚底板下的摩擦力；不能平衡上述荷载所产生的水平力时，应在柱底部采取抗水平剪力的措施，如图 10-56 中的埋入基础的抗剪型钢。

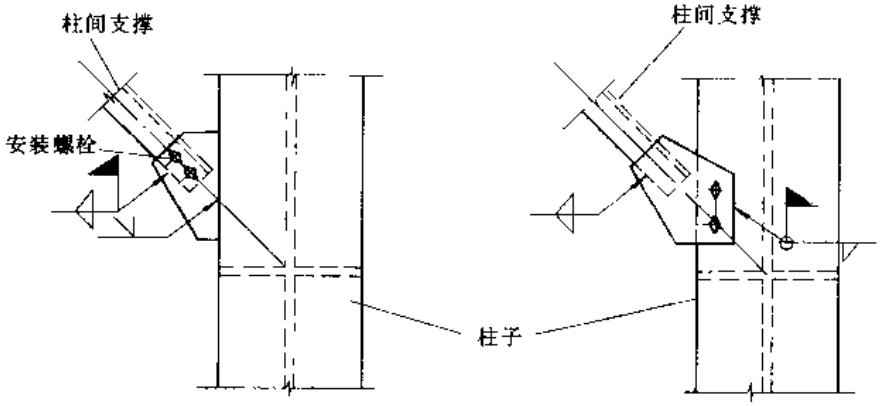


图 10-53 柱间支撑与柱的连接节点

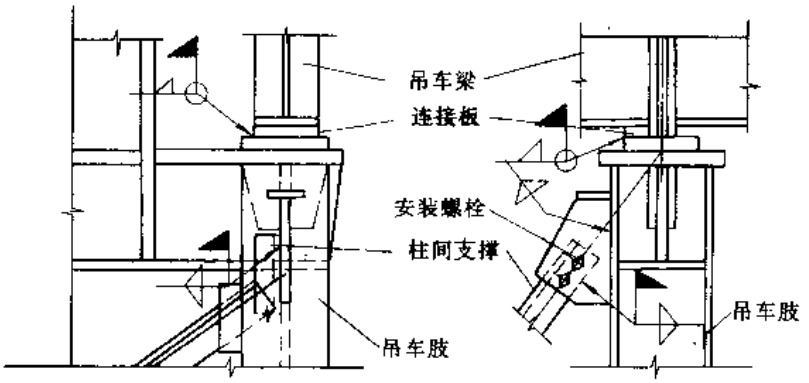


图 10-54 柱间支撑与柱及吊车梁连接图（…）

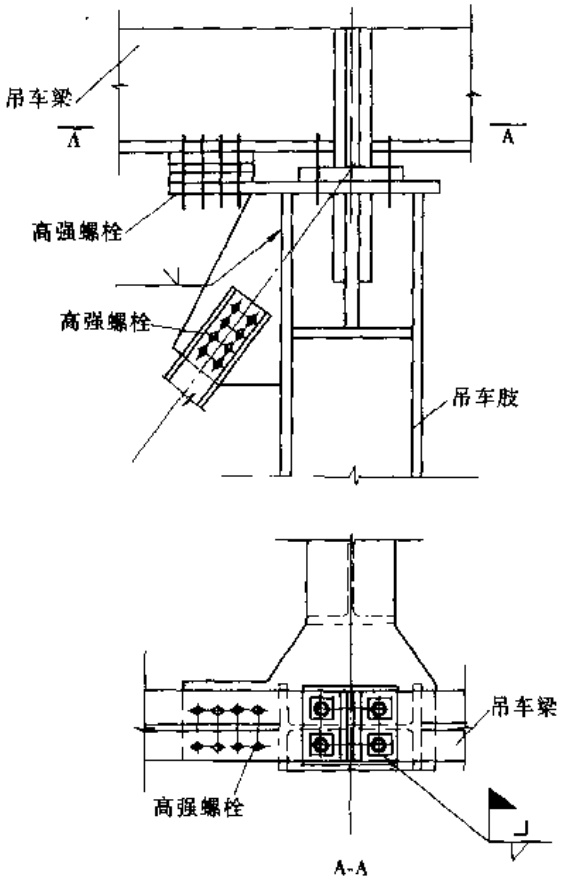


图 10-55　柱间支撑与柱及吊车梁连接图（二）

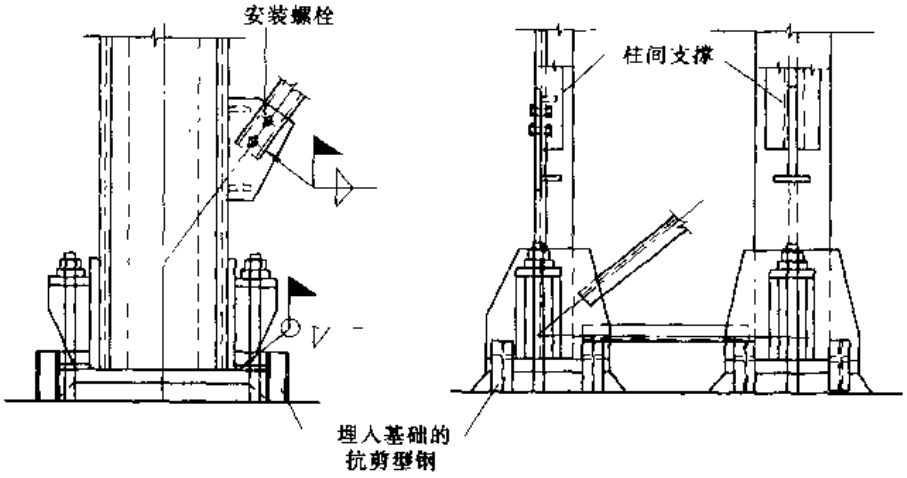


图 10-56　柱间支撑与柱脚的连接图

10.4　厂房纵向刚度和温度应力计算

10.4.1　厂房纵向刚度计算

1. 厂房纵向刚度主要由柱、柱间支撑和其他纵向构件来保证，对于设有 A7、A8 级（重级工作制）吊车的厂房和露天栈桥应进行纵向刚度计算，即由一台起重量最大的吊车

所产生的纵向水平荷载标准值（不考虑动力系数）引起柱在吊车梁上翼缘顶面标高处的纵向位移值 Δ，不得超过柱在该标高处的容许位移值 [Δ]。柱在吊车梁顶面处的容许纵向位移值 $[\Delta]=\frac{H}{4000}$，其中 H 为柱脚底面到吊车梁上翼缘顶面的距离。

2. 计算柱纵向位移时，通常采用简化计算方法，此时假定：

（1）仅考虑柱间支撑或其他纵向框架的刚度，而忽略柱刚度的影响；

（2）计算十字形交叉支撑时，一般仅考虑拉杆工作并假定支撑与柱的连接节点为铰接；

（3）当纵向水平构件如吊车梁、辅助桁架等截面较大时，可忽略其轴向变形影响；

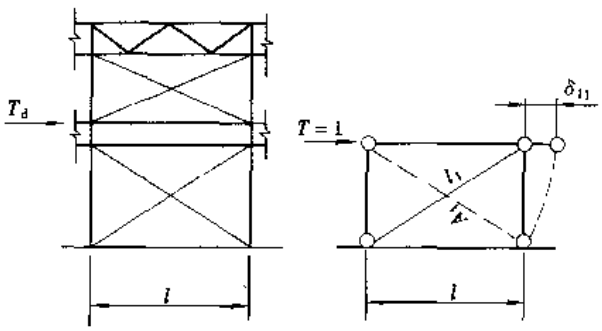


图 10-57 单阶柱纵向位移计算简图

（4）吊车纵向水平力 T_d 分配在温度区段内柱列所有柱间支撑或纵向框架上。

3. 下段柱的柱间支撑为十字形交叉支撑时，其纵向位移计算如下：

（1）对于单阶柱的纵向位移，如图 10-57 所示，可按下式计算：

$$\Delta = T_d\delta_{11}\frac{1}{n} = \frac{T_d l_1^3}{nEl^2A_1} \tag{10-80}$$

式中 δ_{11}——单位纵向水平力作用于吊车梁上翼缘顶面处时，柱的纵向位移值（一道支撑的水平位移）；

n——温度区段内同一柱列中，下段柱的柱间支撑道数；

E——钢的弹性模量；

l——柱距；

A_1、l_1——下段柱柱间支撑斜杆的截面面积和长度。

（2）对于双阶柱，考虑起重量最大的吊车一般设在上层，此时柱在上层吊车梁上翼缘顶面处的纵向位移（图 10-58）可按下式计算：

$$\Delta = T_d\delta_{11}\frac{1}{n} = \frac{T_d}{nEl^2}\left(\frac{l_1^3}{A_1}+\frac{l_2^3}{A_2}\right) \tag{10-81}$$

式中 δ_{11}——单位纵向不平力作用于上层吊车梁上翼缘顶面处时，柱纵向位移值；

A_1、l_1——中段柱柱间支撑斜杆的截面面积和长度；

A_2、l_2——下段柱柱间支撑斜杆的截面面积和长度。

10.4.2 纵向温度应力计算

1. 在下列情况下应计算厂房的纵向温度应力：

（1）当厂房的纵向温度区段的长度超过第 2 章中表 2-17 规定的数值时，应计算柱的纵向温度应力；

（2）当厂房温度区段内设有两道或两道以上的下段柱柱间支撑，且两支撑间的距离较大时，应计算柱间支撑的温度应力。

2. 厂房纵向温度区段内在发生温度变形时的不动点位置，如图 10-59 所示，可按下式

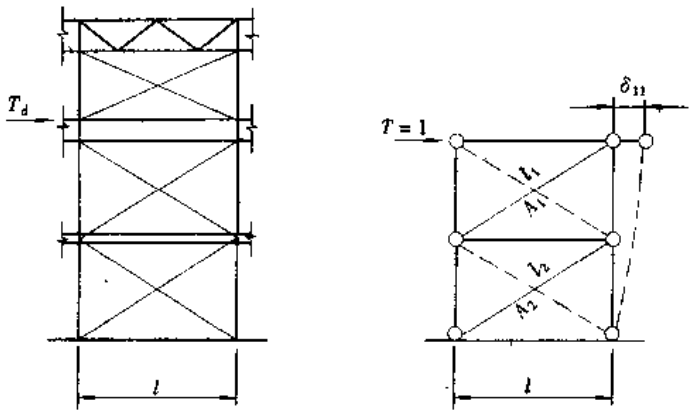


图 10-58　双阶柱纵向位移计算简图

求算：

$$y = \frac{k_2 l_1 + k_3(l_1 + l_2) + \cdots\cdots + k_n(l_1 + l_2 + \cdots\cdots + l_{n-1})}{k_1 + k_2 + \cdots\cdots k_n} \tag{10-82}$$

式中　k_1、$k_2\cdots\cdots k_n$——各柱及各柱间支撑的纵向抗剪刚度，即使柱顶在纵向产生单位位移时所需作用于柱顶的集中水平力。

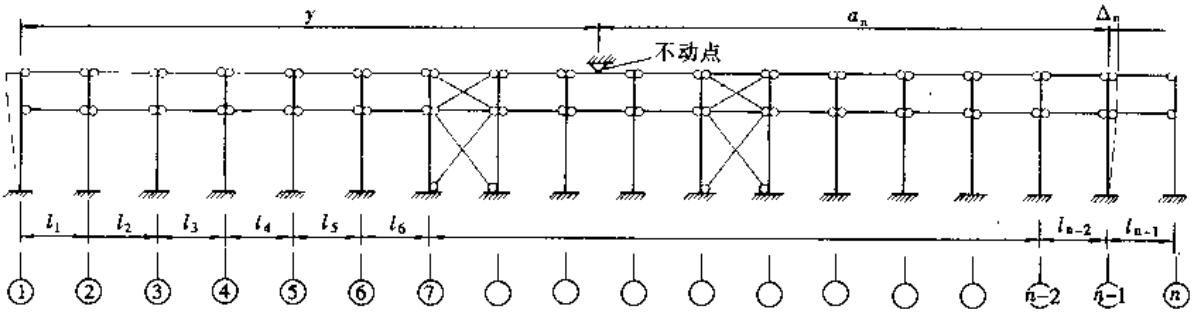


图 10-59　纵向温度变形的不动点计算草图

在未设柱间支撑的温度区段内，当柱的截面和柱距均相同时，纵向温度变形的不动点位置即为柱列的中点。在温度区段内设有柱间支撑的柱列，由于柱间支撑的刚度远大于独立柱的刚度，因此，纵向温度变形的不动点位置，主要取决于柱间支撑的布置。当柱列仅设一道下段柱间支撑时，支撑一般位于温度区段的中央，故纵向温度变形的不动点位置可近似地取柱间支撑的中间；当温度区段内柱列设有二道下段柱的柱间支撑时，一般可假定纵向温度变形不动点位于两柱间支撑的中点。

3. 柱纵向温度应力可按下列规定计算：

（1）由于温度变化而柱顶产生的位移为 Δ_n，而在吊车梁上翼缘顶面标高处的位移为 Δ'_n，则

$$\Delta_n = \alpha \cdot \Delta t \cdot a_n / s \tag{10-83}$$

$$\Delta'_n = \alpha \cdot \Delta t \cdot a_n / s' \tag{10-84}$$

式中　α——钢材的线膨胀系数，取 12×10^{-6}（以每℃计）；

a_n——不动点至所计算柱之间的距离，一般所计算之柱靠近温度区段的端部，但不

取至最端部一根柱的距离，而是取至端部第二根柱的距离，因为端部那根柱荷载较小；

Δt——计算温度差值，可参照表 10-11 选用；

s、s'——位移损失系数，为理论计算位移与实测位移之比值，可取 $s=1$，$s'=1.6$。

地区温度计算差值 表 10-11

厂房类型及使用条件		Δt
采暖车间		25°～30°
非采暖车间	北方地区	35°～45°
	中部地区	25°～35°
	南方地区	15°～25°
热加工车间		≈40°
露天栈桥	北方地区	≈55°
	南方地区	≈45°

注：中部地区系指长江中、下游及陇海铁路之间；南方地区包括四川盆地。

（2）柱顶及吊车梁上翼缘顶面标高处反力 R_A 和 R_B 如图 10-60 所示，可按下列公式求得：

$$R_A\delta_{AA}+R_B\delta_{AB}=\Delta_n \tag{10-85}$$

$$R_A\delta_{BA}+R_B\delta_{BB}=\Delta'_n \tag{10-86}$$

（3）由温度变形产生的柱底最大弯矩 M_t 和最大剪力 V_t 为：

$$M_t=R_AH+R_BH_2 \tag{10-87}$$

$$V_t=R_A+R_B \tag{10-88}$$

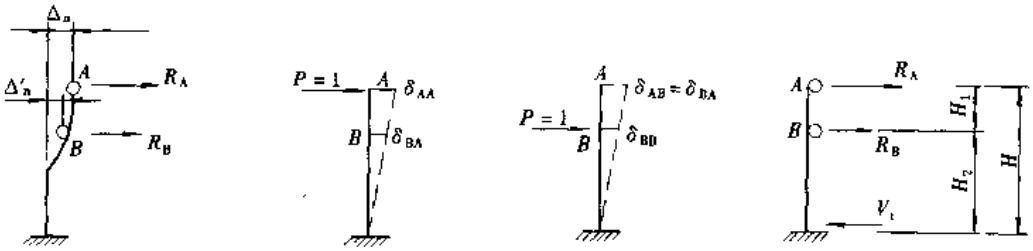


图 10-60 柱顶反力计算草图

4．当柱间支撑为十字形交叉支撑时，如图 10-61 所示，其温度应力计算可按下列步骤进行：

（1）水平位移可按下列公式计算：

$$\delta_1=\frac{N_1L'_n}{EA_1}=\frac{N_2\cos\theta L'_n}{EA_1} \tag{10-89}$$

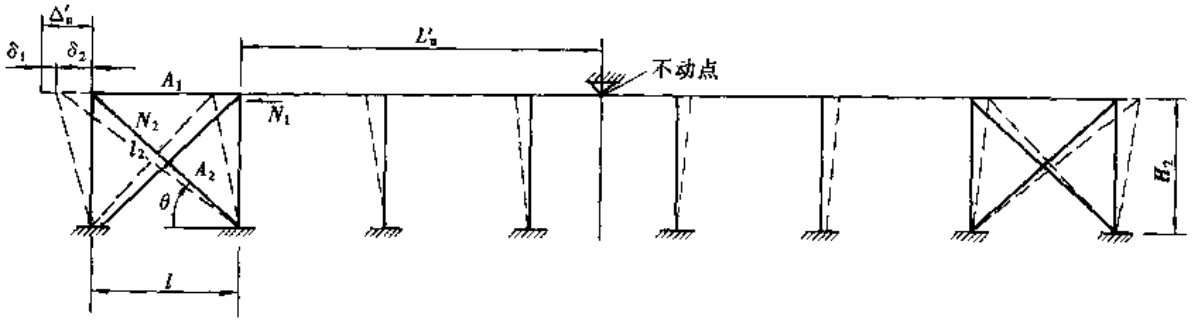


图 10-61 柱间支撑温度应力计算简图

$$\delta_2 = \frac{N_2 l_2}{EA_2\cos\theta} \tag{10-90}$$

$$\Delta'_n = \delta_1 + \delta_2 = \frac{N_2\cos\theta L'_n}{EA_1} + \frac{N_2 l_2}{EA_2\cos\theta} \tag{10-91}$$

式中　N_1、N_2——由温度变化而引起吊车梁或其他纵向构件的内力和支撑斜杆的内力；

δ_1——吊车梁或其他纵向构件在轴心力 N_1 作用下的弹性变形；

δ_2——支撑斜杆在 N_2 作用下所产生的水平位移

A_1——吊车梁或其他纵向构件的截面面积；

A_2、l_2——下段柱柱间支撑斜杆的截面积和长度；

θ——支撑斜杆的倾角；

L'_n——不动点至所计算柱间距离。

（2）将公式（10-91）与公式（10-84）两者相等，可求得 N_2 为：

$$N_2 = \frac{\alpha}{S'} \cdot \frac{E\Delta t \cdot A_2\cos\theta}{\frac{A_2}{A_1}\cos^2\theta + \frac{l_2}{L'_n}} \tag{10-92}$$

（3）根据内力 N_2 可求得支撑斜杆的温度应力 σ_{2t} 为：

$$\sigma_{2t} = \frac{N_2}{A_2} = \frac{\alpha}{S'} \cdot \frac{E\Delta t\cos\theta}{\frac{A_2}{A_1}\cos^2\theta + \frac{l_2}{L'_n}} \tag{10-93}$$

由 10.4.2 条计算得到的柱或支撑杆件的温度应力应与其他各种荷载所产生的应力进行组合。

10.5　柱及柱间支撑的抗震构造措施

10.5.1　柱的抗震构造措施

1. 位于地震区的钢结构房屋，应按现行国家《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）的有关规定计算作用在排架上的地震作用并符合相关的构造措施。现将柱主要抗震措施的规定列于下面：

（1）单层排架柱截面的宽厚比或圆管的外径与其壁厚之比，除应符合第 10.2.3 条 2. 款的规定外，尚应符合表 10-12 的规定；

单层房屋柱板件宽厚比限值　　表 10-12

板件名称	地震烈度		
	7 度	8 度	9 度
工字形截面翼缘外伸部分	13	11	10
箱形截面两腹板间的翼缘	38	36	36
箱形截面的腹板（$N_c/Af<0.25$）	70	65	60
（$N_c/Af\geqslant 0.25$）	58	52	48
圆管外径与壁厚之比	60	55	50

注：1. 表列数值适用于 Q235 钢，当材料为其他钢号时应乘以 $\sqrt{235/f_y}$。

2. N_c 为柱的轴向力。

（2）柱的长细比不应大于 $120\sqrt{235/f_y}$。

（3）柱脚应采取措施，保证能传递柱身承载力的插入式或埋入式柱脚。地震设防烈度为6、7度时亦可采用外露式刚性柱脚，但柱脚锚栓的组合弯矩设计值应乘以增大系数1.2。

实腹式钢柱采用插入式柱脚的埋入深度，不得小于钢柱截面的2倍，同时应满足下式要求：

$$d \geqslant \sqrt{6M/b_f f_c} \tag{10-94}$$

式中 d——柱脚埋深；

M——柱脚全截面屈服时的极限弯矩；

b_f——柱在受弯方向截面翼缘的宽度；

f_c——基础混凝土轴心受压强度设计值。

插入式或埋入式柱脚，如图10-62所示，其内力均由钢筋混凝土承受，强度计算和配筋以及构造要求均可按现行国家《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）的有关规定进行。

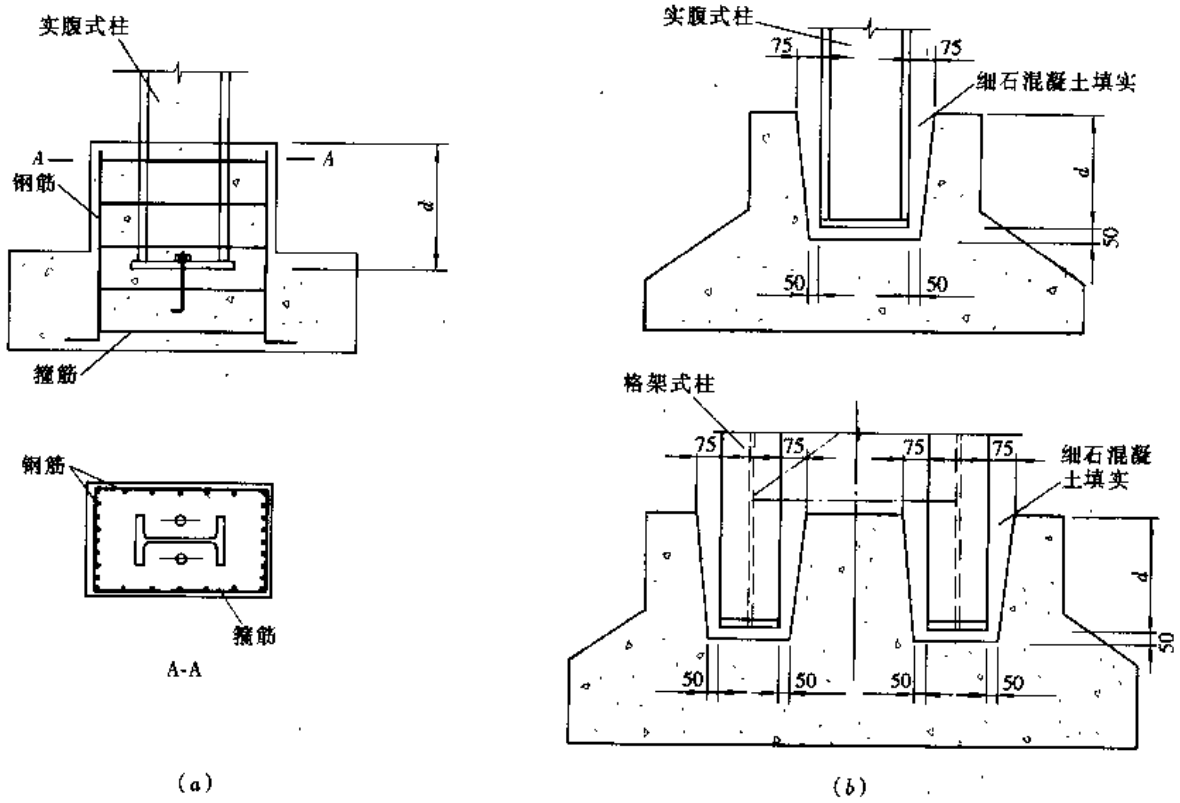


图10-62 插入式和埋入式柱脚

（a）埋入式柱脚；（b）插入式柱脚

10.5.2 柱间支撑的抗震构造措施

1. 柱间交叉支撑应符合下列要求：

（1）有吊车时，应在厂房单元中部设置上、下柱间支撑，并应在厂房单元两端增设上段柱柱间支撑；抗震设防烈度为7度时结构单元长度大于120m，8、9度时结构单元长度大于90m，宜在单元中部1/3区段内设置两道上、下段柱间支撑；

（2）柱间交叉支撑的长细比、支撑斜杆与水平面的夹角、支撑交叉点节点板的厚度规定如下：

1）支撑杆件的长细比不宜超过表 10-13 的规定；

交叉支撑斜杆的最大长细比　　表 10-13

位　置	地震设防烈度			
	6度和7度Ⅰ、Ⅱ类场地	7度Ⅲ、Ⅳ类场地和8度Ⅰ、Ⅱ类场地	8度Ⅲ、Ⅳ类场地和9度Ⅰ、Ⅱ类场地	9度Ⅲ、Ⅳ类场地
上柱支撑	250	250	200	150
下柱支撑	200	200	150	150

2）支撑斜杆与水平面的夹角不宜大于 55°；

3）支撑交叉点的节点板厚度不应小于 10mm。

（3）下柱支撑与柱脚连接的位置和构造措施，应保证将地震作用直接传给基础即支撑的交点宜位于基础的底部或柱底；当 6 度和 7 度不能直接传给基础时，应计及支撑对柱和基础的不利影响；

（4）下段柱间支撑的基础顶部应设混凝土拉梁与混凝土基础连成整体。

（5）柱间支撑杆件应采用整根材料，超过材料最大长度规格时可采用对接焊缝等强度拼接。柱间支撑与构件的连接，不应小于支撑杆件塑性承载力的 1.2 倍。

10.6　柱及柱间支撑实例

【例题 10-1】　排架柱设计实例（双阶柱）

1. 设计资料　某单跨重型车间具有双层吊车的刚接阶形格构式排架柱，钢材为 Q235，该柱在车间排架平面内和平面外的高度如图 10-63 所示。车间排架跨度为 36m，柱距 12m，长度为 144m，屋盖采用梯形钢屋架，预应力混凝土大型屋面板，上层吊车为 2 台 200t 重级工作制吊车，下层吊车为 2 台 75t 重级工作制吊车。车间所在地区的地震烈度为 8 度，基本地震加速度为 0.2g，地基为Ⅱ类场地类别，设计地震分组为第二组。由排架计算（包括地震作用和承载力抗震调整系数 γ_{RE}在内）柱各截面的内力组合为：

截面 1-1（上段柱）

$$\begin{cases} N = 1018.0\text{kN} \\ M_{max} = +1439.0\text{kN}\cdot\text{m} \\ V = -182.0\text{kN} \end{cases} \qquad \begin{cases} N_{max} = 1033.0\text{kN} \\ M = +1260.0\text{kN}\cdot\text{m} \\ V = -162.0\text{kN} \end{cases}$$

截面 2-2(中段柱)

$$\begin{cases} N = 6073.0\text{kN} \\ M_{max} = +3560.0\text{kN}\cdot\text{m} \end{cases} \qquad \begin{cases} N_{max} = 6073.0\text{kN} \\ M = +3401.0\text{kN}\cdot\text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = 1198.0\text{kN} \\ M_{min} = -1417.0\text{kN}\cdot\text{m} \end{cases} \qquad \begin{cases} N = 5938.0\text{kN} \\ M = +3432.0\text{kN}\cdot\text{m} \end{cases}$$

截面 3-3(下段柱)

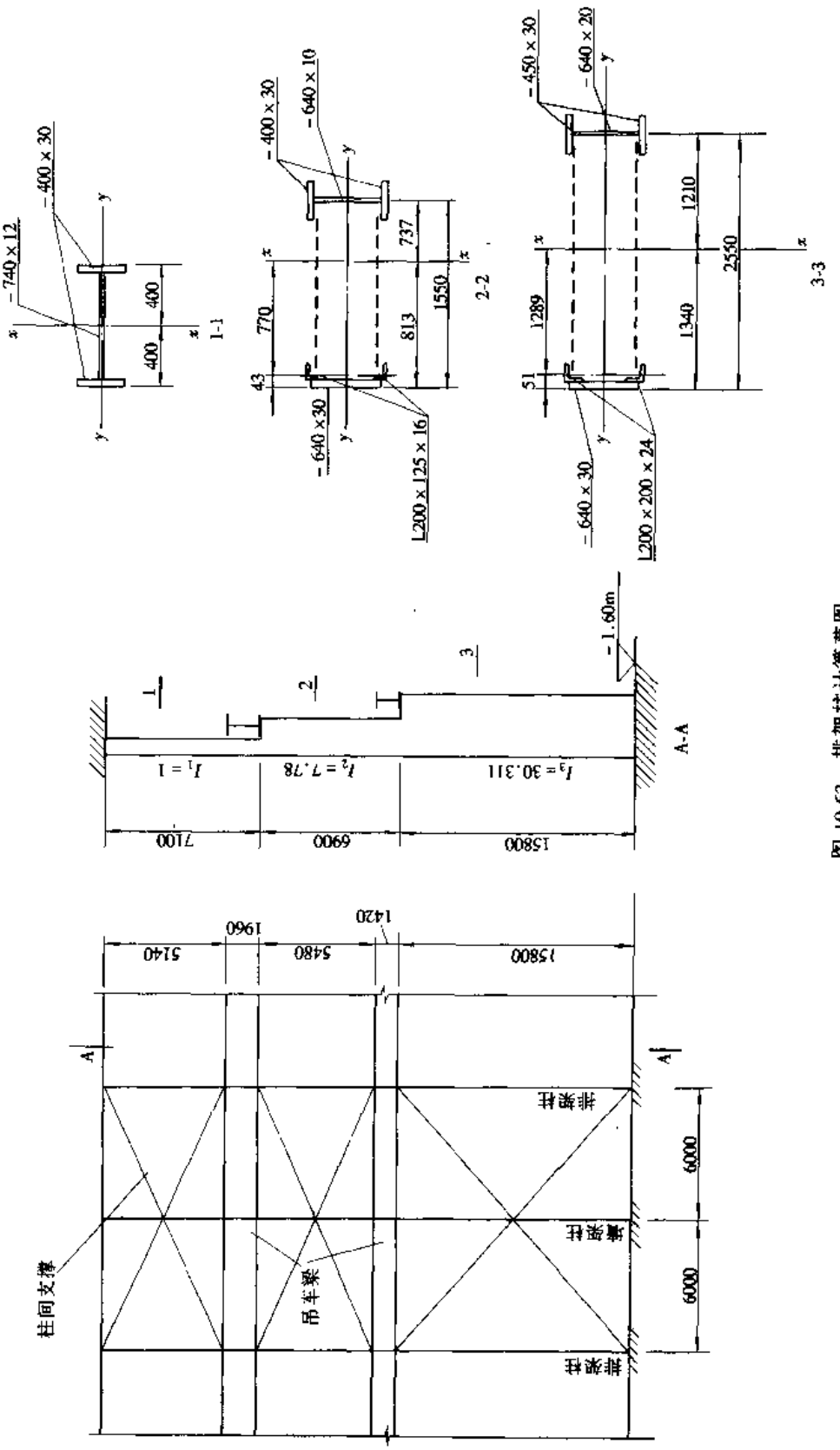


图 10-63 排架柱计算草图

$$\begin{cases} N = 3610.0\text{kN} \\ M_{max} = +3226.0\text{kN}\cdot\text{m} \\ V = -71.0\text{kN} \end{cases} \qquad \begin{cases} N_{max} = 6163.0\text{kN} \\ M = -6062.0\text{kN}\cdot\text{m} \\ V = +316.0\text{kN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = 2593.0\text{kN} \\ M_{min} = -6352.0\text{kN}\cdot\text{m} \\ V = +315.0\text{kN} \end{cases} \qquad \begin{cases} N_{min} = 2438.0\text{kN} \\ M = -6163.0\text{kN}\cdot\text{m} \\ V = +310.0\text{kN} \end{cases}$$

2. 柱截面选择

按表 10-3《柱截面尺寸选择参考表》选取柱截面的高宽和宽度。

上段柱（图 10-63 中的截面 1-1）：$h_1 = \frac{1}{9} \times 710 = 79\text{cm}$　采用 80cm

$b_1 = 0.4 \times 80 = 32\text{cm}$　采用 40cm

中段柱（图 10-63 中的截面 2-2）：$h_2 = 80 + 75 = 155\text{cm}$

$b_2 = b_3 = 70\text{cm}$

下段柱（图 10-63 中的截面 3-3）：$h_3 = \frac{1}{12} \times 2980 = 248.3\text{cm}$　采用 255cm

$b_3 = 0.25 \times 255 = 63.75\text{cm}$　采用 70cm

3. 柱截面几何特性计算：

柱的截面尺寸如图 10-63 所示。

上段柱：（截面见图 10-63 中剖面 1-1 所示）

$A_1 = 328.8\text{cm}^2$

$$I_{1x} = 2\left(\frac{1}{12} \times 40 \times 3^3 + 120 \times 38.5^2\right) + \frac{1}{12} \times 1.2 \times 74^3 = 396442\text{cm}^4$$

$W_{1x} = 9911\text{cm}^3$

$i_{1x} = 34.7\text{cm}$

$$I_{1y} = 2\left(\frac{1}{12} \times 3 \times 40^3\right) + \frac{1}{12} \times 74 \times 1.2^3 = 32010\text{cm}^4$$

$W_{1y} = 1600\text{cm}^3$

$i_{1y} = 9.87\text{cm}$

中段柱（截面见图 10-63 中的截面 2-2）

（1）屋盖肢 $A_R = 2 \times 49.24 + 64 \times 3 = 291.48\text{cm}^2$；重心轴 $y_0 = 4.3\text{cm}$；

$$I_{Rx} = \frac{1}{12} \times 64 \times 3^3 + 64 \times 3 \times 2.8^2 + 2 \times 2023.35 + 49.74 \times 2 \times 5.4^2$$

$$= 8598\text{cm}^3$$

$$i_{Rx} = \sqrt{\frac{8598}{291.48}} = 5.43\text{cm}$$

$$I_{Ry} = \frac{1}{12} \times 3 \times 64^3 + 2 \times 615.44 + 2 \times 49.74\ (35 - 2.99)^2 = 168698\text{cm}^4$$

$$i_{Ry} = \sqrt{\frac{168698}{291.48}} = 24.06\text{cm}$$

（2）吊车肢　$A_d = 304\text{cm}^2$

$$I_{dx}=2\left(\frac{1}{12}\times 3\times 40^3\right)+\frac{1}{12}\times 64^3\times 1^3=32005\text{cm}^4$$

$$i_{dx}=\sqrt{\frac{32005}{304}}=10.3\text{cm}$$

$$I_{dy}=2\left(\frac{1}{12}\times 40\times 3^3+120\times 33.5^2\right)+\frac{1}{12}\times 1\times 64^3=291365\text{cm}^4$$

$$i_{dy}=\sqrt{\frac{291365}{304}}=30.9\text{cm}$$

(3) 整体柱的截面特性：

$$A_2=291.48+304=595.48\text{cm}^2;$$

重心轴 $y_0=\dfrac{304\ (155-4.3)}{595.48}=77.0\text{cm}$

$$I_{2x}=85.98+291.48\ (77.0)^2+32005+304\times 73.7^2$$

$$=3420021\text{cm}^4$$

$$i_{2x}=\sqrt{\frac{3420021}{595.48}}=75.78\text{cm}$$

在计算柱的长度系数时，格构式柱的计算截面惯性矩应乘以折减系数 0.9，即 $I'_{2x}=3420021\times 0.9=3078019\text{cm}^4$

$$\frac{I'_{2x}}{I_{1x}}=\frac{3078019}{396442}=7.76$$

下段柱：

(1) 屋盖肢：$A_R=64\times 3.0+2\times 90.66=373.32\text{cm}^2$；重心轴 $y_0=5.1\text{cm}$

$$I_{Rx}=\frac{1}{12}\times 64\times 3^3+64\times 3\times 3.6^2+2\times 3338+2\times 90.66\times 3.74^2=11845\text{cm}^4$$

$$i_{Rx}=\sqrt{\frac{11845}{373.32}}=5.63\text{cm}$$

$$I_{Ry}=\frac{1}{12}\times 3\times 64^3+2\times 3338+2\times 90.66\ (35-5.84)^2=226390\text{cm}^4$$

$$i_{Ry}=\sqrt{\frac{226390}{373.7}}=24.63\text{cm}$$

(2) 吊车肢 $A_d=64\times 2+45\times 3\times 2=398\text{cm}^2$

$$I_{dx}=\frac{1}{12}\times 3\times 45^3\times 2+\frac{1}{12}\times 64\times 2^3=45605\text{cm}^4$$

$$i_{dx}=\sqrt{\frac{45605}{398}}=10.7\text{cm}$$

$$I_{dy}=\frac{1}{12}\times 2\times 64^3+\frac{1}{12}\times 45\times 3^3\times 2+45\times 3\times 2\times 33.5^2=346901\text{cm}^4$$

$$i_{dy}=\sqrt{\frac{346901}{398}}=29.5\text{cm}$$

(3) 整体柱的截面特性：

$$A_3=A_R+A_d=373.32+398=771.32\text{cm}^2$$

重心位置 $y_0=\dfrac{64\times 3\times 1.5+2\times 90.66\times 8.84+398\times 255}{771.32}=134\text{cm}$

$$I_{3x}=\frac{1}{12}\times 64\times 3^3+64\times 3\times 132.5^2+2\times 3338.3+2\times 90.66\times 125.16^2$$
$$+45605+398\times 121^2=120.907\times 10^5\text{cm}^4=120.907\times 10^9\text{mm}^4$$

$$i_{3x}=\sqrt{\frac{120.907\times 10^5}{771.32}}=125.2\text{cm}$$

$$I_{3y}=\frac{1}{12}\times 3\times 64^3+2\times 90.66\times 29.16^2+2\times 3338.3+346901$$
$$=5.733\times 10^5\text{cm}^4=5.733\times 10^9\text{mm}^4$$

$$i_{3x}=\sqrt{\frac{573300}{771.32}}\approx 27.26\text{cm}$$

在计算柱的计算长度系数时格构式柱的计算截面惯性矩应乘以折减系数0.9，即 $I'_{x3}=120.907\times 10^5\times 0.9=108.816\times 10^5\text{cm}^4$

$$\frac{I'_{3x}}{I_{1x}}=\frac{108.816\times 10^5}{396442}\approx 27.45$$

4. 柱计算长度

(1) 各段柱在排架平面内的高度、最大轴向力和相对惯性矩：

上段柱　$H_1=710\text{cm}$；　$N_1=1033.0\text{kN}$；　$I_1=1.0$

中段柱　$H_2=690\text{cm}$；　$N_2=6073.0\text{kN}$；　$I_2=7.76$

下段柱　$H_3=1580\text{cm}$；　$N_3=6163.0\text{kN}$；　$I_3=27.45$

(2) 柱段的线刚度比和计算参数：

$$K_1=\frac{I_1}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_1}=\frac{1}{27.45}\cdot\frac{1580}{710}=0.081$$

$$K_2=\frac{I_2}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_2}=\frac{7.76}{27.45}\cdot\frac{1580}{690}=0.647$$

$$\eta_1=\frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_1}}=\frac{710}{1580}\sqrt{\frac{1033.0}{6163.0}\cdot\frac{27.45}{1}}=0.96$$

$$\eta_2=\frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_2}}=\frac{690}{1580}\sqrt{\frac{6073.0}{6163.0}\cdot\frac{27.45}{7.76}}=0.82$$

由表15-6查得 μ 值为：$\mu=2.90$

按第10.2.1条2款的规定，系数 μ 还要乘以表10-2中查得的折减系数0.8，即

$$\mu_3=2.9\times 0.8=2.32$$

$$\mu_2=\frac{\mu_3}{\eta_2}=\frac{2.32}{0.82}=2.83$$

$$\mu_1=\frac{\mu_3}{\eta_1}=\frac{2.32}{0.96}=2.42$$

(3) 各段柱在排架平面内的计算长度为：

上段柱　$H_{01}=\mu_1 H_1=2.42\times 710=1718\text{cm}$

中段柱　$H_{02}=\mu_2 H_2=2.83\times 690=1953\text{cm}$

下段柱　$H_{03}=\mu_3 H_3=2.32\times 1580=3665.6\text{cm}$

(4) 各柱段在排架平面外的计算长度（图10-63）

上段柱 $H'_{01}=514\text{cm}$

中段柱 $H'_{02}=548\text{cm}$

下段柱 $H'_{03}=1580\text{cm}$

对于在上层吊车梁顶面处的排架平面内的位移经计算为 10.3mm（过程略）$<\frac{24660}{1250}=19.7\text{mm}$

5. 柱截面计算

（1）上段柱截面如图 10-63 中剖面 1-1 所示。由本例题第 3 条查得截面特性为：

$A_1=328.8\text{cm}^2$

$I_{1x}=396442\text{cm}^4$ $W_{1x}=9911\text{cm}^3$ $i_{1x}=34.7\text{cm}$

$I_{1y}=32010\text{cm}^4$ $W_{1y}=1600\text{cm}^3$ $i_{1y}=9.87\text{cm}$

由本例题第 1 条的设计资料中选取上柱内力为：

第①组合$\begin{cases}N=1018.0\text{kN}\\M_{\max}=+1439\text{kN}\cdot\text{m}\end{cases}$第②组合$\begin{cases}N_{\max}=1033.0\text{kN}\\M=+1260\text{kN}\cdot\text{m}\end{cases}$

1）强度计算

净截面计算，假设扣除翼缘上 2-ϕ21.5 螺栓孔的面积，即：

$$A_n=328.8-2(2.15\times3)=315.9\text{cm}^2$$

$$W'_{nx}=W_{1x}\times\frac{A_n}{A_1}=9911\times\frac{315.9}{328.8}=9522.2\text{cm}^3=9.522\times10^6\text{mm}^3$$

$$\gamma_x=1.05$$

按公式（10-9）计算强度为

第①组合$\frac{N}{A_n}+\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}}=\frac{1018\times10^3N}{315.9\times10^2\text{mm}^2}+\frac{1439\times10^6\text{N}\cdot\text{mm}}{1.05\times9.522\times10^6}$

$=32.2+144.0=175.2\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$

第②组合$\frac{1033\times10^3}{31590}+\frac{1260\times10^6}{1.05\times9.522\times10^6}=32.7+126.0=158.7\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$

2）排架平面内稳定性计算

计算长度 $H_{01}=1718\text{cm}$

$$\lambda_x=\frac{H_{01}}{i_{1x}}=\frac{1718}{34.7}=49.5$$

$$E=206\times10^3\text{N/mm}^2,\ \beta_{mx}=1.0$$

$$N_{Ex}=\frac{\pi^2EA}{1.1\lambda_x^2}=\frac{\pi^2\times206\times10^3\times32880}{1.1\times49.5^2}=24.8\times10^6\text{N}$$

焊接工字钢对 x 轴为 b 类截面，由表 24-3 查得 $\varphi_x=0.856$。按公式（10-10）计算稳定性：

第①组合$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\gamma_x W_x\left(1-0.8\frac{N}{N_{Ex}}\right)}=\frac{1018\times10^3}{0.856\times32880}$

$$+\frac{1439\times10^6}{1.05\times9.911\times10^6\left(1-0.8\frac{1018\times10^3}{24.8\times10^6}\right)}$$

$$= 36.2 + 143 = 179.2\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

第②组合 $\dfrac{1033\times10^3}{0.856\times32880}+\dfrac{1260\times10^6}{1.05\times9.911\times10^6\left(1-0.8\dfrac{1033\times10^3}{24.8\times10^6}\right)}$

$$= 36.7 + 136.3 = 173.0\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

3）排架平面外的稳定性计算：

$$H'_{01} = 514\text{cm}$$

$$\lambda_y = \frac{H_{01}}{i_{1y}} = \frac{514}{9.87} = 52$$

$$\beta_{tx} = 1.0$$

由公式（3-11）$\varphi_b = 1.07 - \dfrac{\lambda_y^2}{44000} = 1.07 - \dfrac{52^2}{44000} \approx 1.0$

工字钢，对 y 轴，为b类截面，由表14-3查得 $\varphi_y = 0.847$。按公式（10-11）计算稳定性：

第①组合 $\dfrac{N}{\varphi_y A}+\eta\dfrac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_b W_x}=\dfrac{1018\times10^3}{0.847\times32880}+\dfrac{1\times1439\times10^6}{1.0\times9.911\times10^6}$

$$= 36.6 + 145.2 = 181.8\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

第②组合 $\dfrac{1033\times10^3}{0.847\times32880}+\dfrac{1260\times10^6}{1.0\times9.911\times10^6}$

$$= 37.1 + 127.1 = 164.2\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

4）腹板局部稳定计算

计算腹板与上、下翼缘交界处的应力为：

第①组合

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A}+\frac{M_x}{I_x}y_1 = \frac{1018\times10^3}{32880}+\frac{1439\times10^6}{3.964\times10^9}\times(400-30) = 31.0 + 134 = 165\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A}-\frac{M_x}{I_x}y_1 = 31.0 - 134 = -103\text{N/mm}^2$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{165+103}{165} = 1.62$$

按公式（10-23）计算得：$(48\alpha_0 + 0.5\lambda - 26.2)\sqrt{\dfrac{235}{f_y}} = 48\times1.62 + 0.5\times49.5 - 26.2 = 76.3$

$> \dfrac{h_0}{t_w} = \dfrac{740}{12} = 61.7$

第②组合

$$\sigma_{max} = \frac{1033\times10^3}{32880}+\frac{1260\times10^6}{3.964\times10^9}(400-30)$$

$$= 31.4 + 117.6 = 149.0\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{min} = 31.4 - 117.6 = -86.2\text{N/mm}^2$$

$$\alpha_0 = \frac{149+86.2}{149} = 1.58$$

按公式（10-23）计算得 $48\times1.58 + 0.5\times49.5 - 26.2 = 74.4 > 61.7$

（2）中段柱截面，如图 10-63 中剖面 2-2 所示，由本例题第 3 条查得截面特性为：

屋盖肢 $A_R = 291.48cm^2$；$I_{Rx} = 8598cm^4$；$i_{Rx} = 5.43cm$

$I_{Ry} = 168698cm^4$；$i_{Ry} = 24.06cm$

吊车肢 $A_d = 304cm^2$；$I_{dx} = 32005cm^4$；$I_{dx} = 10.3cm$

$I_{dy} = 291365cm^4$；$i_{dy} = 30.9cm$

整体柱 $A_2 = 595.48cm^2$；$I_{2x} = 3420021cm^4$；$i_{2x} = 75.78cm$

$$W_{2x-1} = \frac{3420021}{81.3} = 42067cm^3 = 42.067 \times 10^6 mm^3$$

$$W_{2x-2} = \frac{3420021}{73.7 + 20} = 36500cm^3 = 36.5 \times 10^6 mm^3$$

由本例题第 1 条的设计资料中选取中段柱内力为：

第①组合，屋盖肢一侧，内力取 $\begin{cases} N = 1198.0kN \\ M = -1417.0kN \cdot m \end{cases}$

第②组合，吊车肢一侧，内力取 $\begin{cases} N = 6073.0kN \\ M = +3560.0kN \cdot m \end{cases}$

1）排架平面内的整体稳定性计算

$$H_{02} = 1953cm$$

$$\lambda_x = \frac{H_{02}}{i_{2x}} = \frac{1953}{75.78} = 25.8$$

格构式柱斜缀条采用 L140 × 90 × 10；$A_c = 22.26cm^2$，$A'_c = 2 \times 22.26 = 44.52cm^2$

由公式（3-56）换算长细比 $\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 27\frac{A}{A'_c}} = \sqrt{25.8^2 + 27 \times \frac{595.48}{44.52}} = 32$

$$N'_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_{0x}^2} = \frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 595.48 \times 10^2}{1.1 \times 32^2} = 98.6 \times 10^6 N$$

$$\beta_{mx} = 1.0$$

中段柱截面属于 b 类截面，由表 14-3 查得 $\varphi_x = 0.929$，按公式（10-12）计算稳定性：

取第②组合 $\dfrac{N}{\varphi_x A} + \dfrac{\beta_{mx} M}{W_{2x-2}\left(1 - \varphi_x \dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}$

$$= \frac{6073 \times 10^3}{0.929 \times 5954.8} + \frac{1 \times 3560 \times 10^6}{36.5 \times 10^6\left(1 - 0.929 \times \dfrac{6073 \times 10^2}{98.6 \times 10^6}\right)}$$

$$= 110.1 + 103 = 213.1N/mm^2 < 215N/mm^2$$

2）屋盖肢稳定性计算

计算屋盖肢内力：（图 10-63 中剖面 2-2）

$$N_1 = \frac{N_{y2}}{h} + \frac{M_x}{h} = \frac{1198 \times 73.7}{150.7} + \frac{1417 \times 10^2}{150.7} = 585.9 + 940.3 = 1526.2kN$$

格构式柱水平缀条之间的距离为 155cm，因此 $l_{ox} = 155cm$（见图 10-64），平面外计算长度：$l_{oy} = H'_{02} = 548cm$

$$\lambda_{Rx} = \frac{l_{ox}}{i_{Rx}} = \frac{155}{5.43} \approx 28.54$$

$$\lambda_{R_y}=\frac{l_{oy}}{i_{Ry}}=\frac{548}{24.06}=22.8$$

屋盖肢截面属b类截面，由表14-3查得 $\varphi_x=0.942$，按公式（3-44）计算其稳定性为：

$$\frac{N_1}{\varphi A_R}=\frac{1526.2\times10^3}{0.942\times29148}=55.6\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

3）吊车肢稳定性计算

计算吊车肢内力

$$N_2=\frac{N_{y1}}{h}+\frac{M_x}{h}=\frac{6073\times77.0}{150.7}+\frac{3560\times10^3}{150.7}$$
$$=3103+2362=5465\text{kN}$$
$$l_{ox}=155\text{cm};\quad l_{oy}=548\text{cm}$$
$$\lambda_{dx}=\frac{l_{ox}}{i_{dx}}=\frac{155}{10.3}=15$$
$$\lambda_{dy}=\frac{l_{oy}}{i_{dy}}=\frac{548}{30.9}=17.7$$

吊车肢截面属b类截面，由表14-3查得 $\varphi_y=0.977$，按公式（3-44）计算其稳定性为：

$$\frac{N_2}{\varphi A_d}=\frac{5465\times10^3\text{N}}{0.977\times30400}=184.0\text{N/mm}^2<215\text{kN/mm}^2$$

（3）下段柱截面，如图10-63中剖面3-3所示，由本例题第3条查得截面特性为：

屋盖肢　$A_R=373.32\text{cm}^2$；$I_{Rx}=11845\text{cm}^4$；$i_{Rx}=5.63\text{cm}$

$I_{Ry}=226390\text{cm}^4$；$i_{Ry}=24.63\text{cm}$

吊车肢　$A_d=398\text{cm}^2$；$I_{dx}=45605\text{cm}^4$；$i_{dx}=10.7\text{cm}$

$I_{dy}=346901\text{cm}^4$；$i_{dy}=29.5\text{cm}$

整体柱　$A_3=771.32\text{cm}^2$；$I_{3x}=120.907\times10^5\text{cm}^4$；$i_{3x}=125.2\text{cm}$

$$W_{3x-1}=\frac{120.907\times10^5}{128.9}=93799\text{cm}^3=93.799\times10^6\text{mm}^3$$
$$W_{3x-2}=\frac{120.907\times10^5}{121+22.5}=84256\text{cm}^3=84.256\times10^6\text{mm}^3$$

由本例题第1条的设计资料中选取下段柱内力为：

屋盖肢一侧：第①组合内力取$\begin{cases}N=6163.0\text{kN}\\M=-6062.0\text{kN}\cdot\text{m}\end{cases}$

第②组合内力取$\begin{cases}N=2593\text{kN}\\M=-6352\text{kN}\cdot\text{m}\end{cases}$

吊车肢一侧：第③组合内力取$\begin{cases}N=3610\text{kN}\\M=+3226\text{kN}\cdot m\end{cases}$

1）排架平面内的整体稳定性计算

$$H_{03}=3665.6\text{cm}$$
$$\lambda_x=\frac{H_{03}}{i_{3x}}=\frac{3665.6}{125.2}=29.3$$

格构式柱斜缀条用 L140×90×10 $A_c=22.26\text{cm}^2$，$A'_c=2\times22.26=44.52\text{cm}^2$

换算细长比 $\lambda_{ox}=\sqrt{\lambda_x^2+27\dfrac{A}{A'_c}}$

$$=\sqrt{29.3^2+27\times\frac{771.32}{44.52}}=36.4$$

$$N'_{Ex}=\frac{\pi^2\times 206\times 10^3\times 771.32\times 10^2}{1.1\times 36.4^2}=107.6\times 10^6\text{N}$$

下段柱截面属于 b 类截面，由表 24-3 查得 $\varphi_x=0.91$

$$\beta_{mx}=1.0$$

按公式（10-12）计算稳定性：

取第①组合 $\dfrac{N}{\varphi_x A}+\dfrac{\beta_{mx}M_x}{W_{3x-1}\left(1-\varphi_x\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)}$

$$=\frac{6163\times 10^3}{0.91\times 77132}+\frac{1\times 6062\times 10^6}{93.799\times 10^6\left(1-0.91\dfrac{6163\times 10^3}{107.6\times 10^6}\right)}$$

$$=87.8+68.2=156\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

2）屋盖肢稳定性计算

计算屋盖肢内力

第①组合 $N_1=\dfrac{N_{y2}}{h}+\dfrac{M'_x}{h}=\dfrac{6163\times 121}{128.9+121}+\dfrac{6062.0\times 10^2}{249.9}=2984.0+2426=5410.0\text{kN}$

第②组合 $N_1=\dfrac{2593\times 121}{249.9}+\dfrac{6352\times 10^2}{249.9}=1256+2542=3798\text{kN}$

取第①组合内力进行计算。格构式柱水平缀条之间的距离为 $l_{ox}=250\text{cm}$，（见图 10-65）

平面外计算长度：$l_{oy}=H'_{03}=1580\text{cm}$

$$\lambda_{Rx}=\frac{l_{ox}}{i_{Rx}}=\frac{250}{5.63}\approx 44$$

$$\lambda_{Ry}=\frac{l_{oy}}{i_{Ry}}=\frac{1580}{24.63}\approx 64$$

屋盖肢截面属 b 类截面，由表 14-3 查得 $\varphi_y=0.796$，按公式（3-44）计算其稳定性为：

$$\frac{N_1}{\varphi_y A_R}=\frac{5410\times 10^3\text{N}}{0.796\times 373.32\times 10^2}=182\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

3）吊车肢稳定性计算

计算吊车肢内力：

取第③组合内力进行计算 $N_2=\dfrac{N_{y1}}{h}+\dfrac{M}{h}=\dfrac{3610\times 128.9}{249.9}+\dfrac{3226\times 10^3}{249.9}$

$$=1862+1291=3153.0\text{kN}$$

$l_{ox}=250\text{cm}$（见图 10-65）

平面外计算长度：$l_{oy}=H'_{03}=1580\text{cm}$

$$\lambda_{dx}=\frac{l_{ox}}{i_{dx}}=\frac{250}{10.7}=23.3$$

$$\lambda_{dy}=\frac{l_{oy}}{i_{dy}}=\frac{1580}{29.52}=53.5$$

吊车肢截面属b类截面，由表14-3查得 $\varphi_y=0.84$，按公式（3-44）计算其稳定性为：

$$\frac{N_2}{\varphi_y A_d}=\frac{3153\times10^3}{0.84\times398\times10^2}=94.3\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

6. 缀条计算

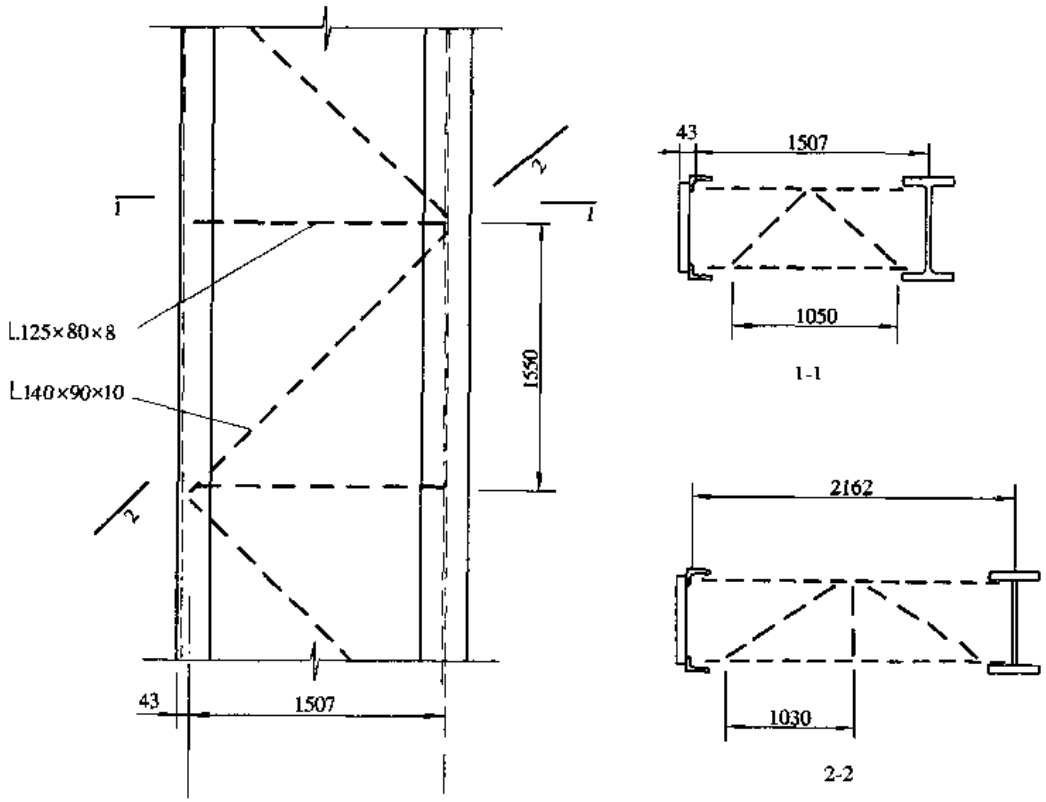


图 10-64　中段柱缀条计算草图

（1）中段柱的缀条布置如图10-64所示。由公式（10-29）求得的剪力为：

$$V=\frac{Af}{85\sqrt{\frac{235}{f_y}}}=\frac{597.88\times10^2\times215}{85}=151228\text{N}=151.3\text{kN}$$

由本例题第1条的设计资料中提供的下段柱最大剪力为 $V=316$kN，此值大于151.3kN，应采用 $V=316$kN进行计算。

1）横缀条采用L125×80×8以角钢长边与柱子相连，角钢短边设有附加缀条，以减小其计算长度。中段柱的横向缀条在排架平面内的计算长度为150.7cm，在排架平面外的计算长度取附加缀条分格的距离为105cm。即 $l_{ox}=150.7$cm；$l_{oy}=105$cm（见图10-64）

角钢面积 $A=15.99\text{cm}^2$；$i_x=4.01$cm；$i_y=2.29$cm

$$\lambda_x=\frac{l_{ox}}{i_x}=\frac{150.7}{4.01}=37.6;\quad \lambda_y=\frac{105}{2.29}=45.9$$

横缀条内力 $N=\frac{V}{2}=\frac{316}{2}=158$kN

按公式（10-30）计算稳定性，缀条的截面为无任何对称轴，属c类截面，由表14-4。查得 $\varphi_y=0.801$

$$\frac{N}{\varphi_{A_h}}=\frac{158\times10^3}{0.801\times15.99\times10^2}=123.4\text{N/mm}^2<0.7\times215=150.5\text{kN/mm}^2$$

2）斜缀条采用 L140×90×10

$$A=22.26\text{cm}^2;\quad i_x=4.47\text{cm};\quad i_y=2.56\text{cm}$$

$$l_{ox}=\sqrt{150.7^2+155^2}=216.2\text{cm}$$

$$l_{oy}=103\text{cm}$$

$$\cos\theta=\frac{150.7}{216.2}=0.697$$

斜缀条内力 $N=\dfrac{316}{2\cos\theta}=226.7\text{kN}$

按公式（10-31）计算稳定性

$$\lambda_x=\frac{216.2}{4.47}=48.4$$

$$\lambda_y=\frac{103}{2.56}=40.2$$

此截面属 c 类截面由表 14-4 查得 $\varphi_y=0.785$

$$\frac{N}{\varphi A}=\frac{226.7\times10^3}{0.785\text{N}\times22.26\times10^2}=129.7\text{N/mm}^2<215\times0.7=150.5\text{N/mm}^2$$

（2）下段柱的缀条布置如图 10-65 所示：

1）横缀条采用 L125×80×8

$$A=15.99\text{cm}^2;\quad i_x=4.01\text{cm};\quad i_y=2.29\text{cm}$$

$$\lambda_x=\frac{249.9}{4.01}=62.3;\quad \lambda_y=\frac{140}{2.29}=61.1$$

按公式（10-30）计算稳定性，下柱横缀条内力为 158kN

此截面属 c 类截面，由表 14-4 查得 $\varphi_y=0.692$，

$$\frac{N}{\varphi A}=\frac{158\times10^2}{0.692\times15.99\times10^2}=143\text{N/mm}^2<215\times0.7=150.5\text{N/mm}^2$$

2）斜缀条采用 L140×90×10

$$A=22.26\text{cm}^2;\quad i_x=4.47\text{cm};\quad i_y=2.56\text{cm}$$

$$l_{ox}=\sqrt{249.9^2+250^2}=353.5\text{cm}$$

$$\cos\theta=\frac{249.9}{353.5}=0.707$$

斜缀条内力 $N=\dfrac{158}{0.707}=223.5\text{kN}$

按公式（10-31）计算稳定性

$$\lambda_x=\frac{353.5}{4.47}=79$$

$$\lambda_y=\frac{160}{2.56}=62.5$$

此截面属 c 类截面，由表 14-4 查得 $\varphi_y=0.584$

$$\frac{N}{\varphi A}=\frac{223.5\times10^2}{0.584\times22.26\times10^2}=172\text{N/mm}^2>215\times0.7=150.5\text{N/mm}^2$$

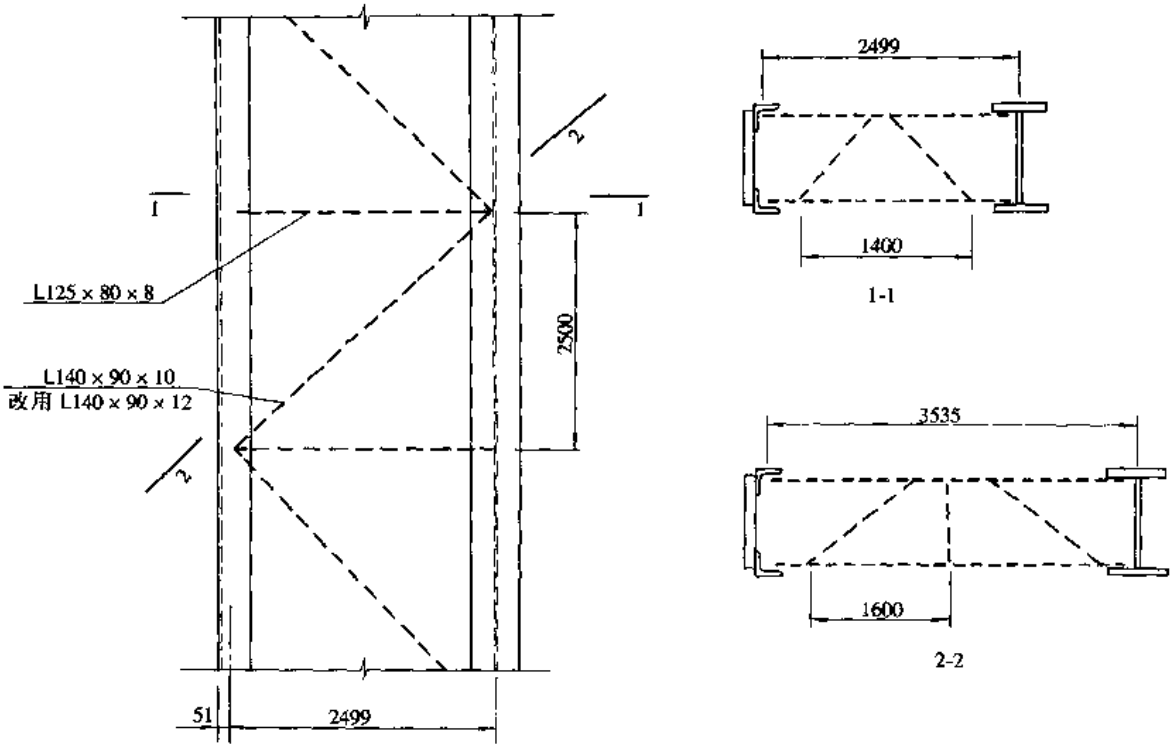


图 10-65　下段柱缀条计算草图

应改用 L140×90×12 即能满足，见图 10-65。

（3）缀条与柱的连接焊缝，

1）横缀条与柱的连接焊缝

设角钢肢背焊缝 $h_{f1}=10\text{mm}$；肢尖焊缝 $h_{f2}=6\text{mm}$

按第 4 章和第 2 章中公式（4-20）、（4-21）及表 4-5、表 2-9 得

$$\text{肢背焊缝 } l_{w1}=\frac{0.65N}{0.7h_{f1}\times 0.85\times f_f^w}+2h_{f1}=\frac{0.65\times 158\times 10^3}{0.7\times 10\times 0.85\times 160}+2\times 10$$

$$=107.9+20=127.9\text{mm 取 }130\text{mm}$$

$$\text{肢尖焊缝 } l_{w2}=\frac{0.35N}{0.7h_{f2}\times 0.85f_f^w}+2\times 10=\frac{0.35\times 158\times 10^3}{0.7\times 6\times 0.85\times 160}+20$$

$$=96.8+20=116.8\text{mm 取 }120\text{mm}$$

2）斜缀条与柱的连接

设 $h_{f1}=10\text{mm}$；$h_{f2}=6\text{mm}$

最大 $N=223.5\text{kN}$

$$\text{肢背焊缝 } l_{w1}=\frac{0.65\times 223.5\times 10^3}{0.7\times 10\times 0.85\times 160}+20=153.8+20=173.8\text{mm 取 }180\text{mm}$$

$$\text{肢尖焊缝 } l_{w2}=\frac{0.35\times 223.5\times 10^3}{0.7\times 6\times 0.85\times 160}+2\times 10=136.9+20=156.9\text{mm 取 }160\text{mm}$$

7. 柱肩梁计算

本例题只计算下层吊车梁支承处的肩梁，也即中段柱与下段柱连接处的肩梁，其形式如图 10-66 所示。双层吊车的下阶处肩梁一般采用双壁式肩梁，其高度取下阶柱截面高度之 0.5～0.6，现采用肩梁高度 1350mm。由前面排架分析提供的中段柱最不利的内力组合为：

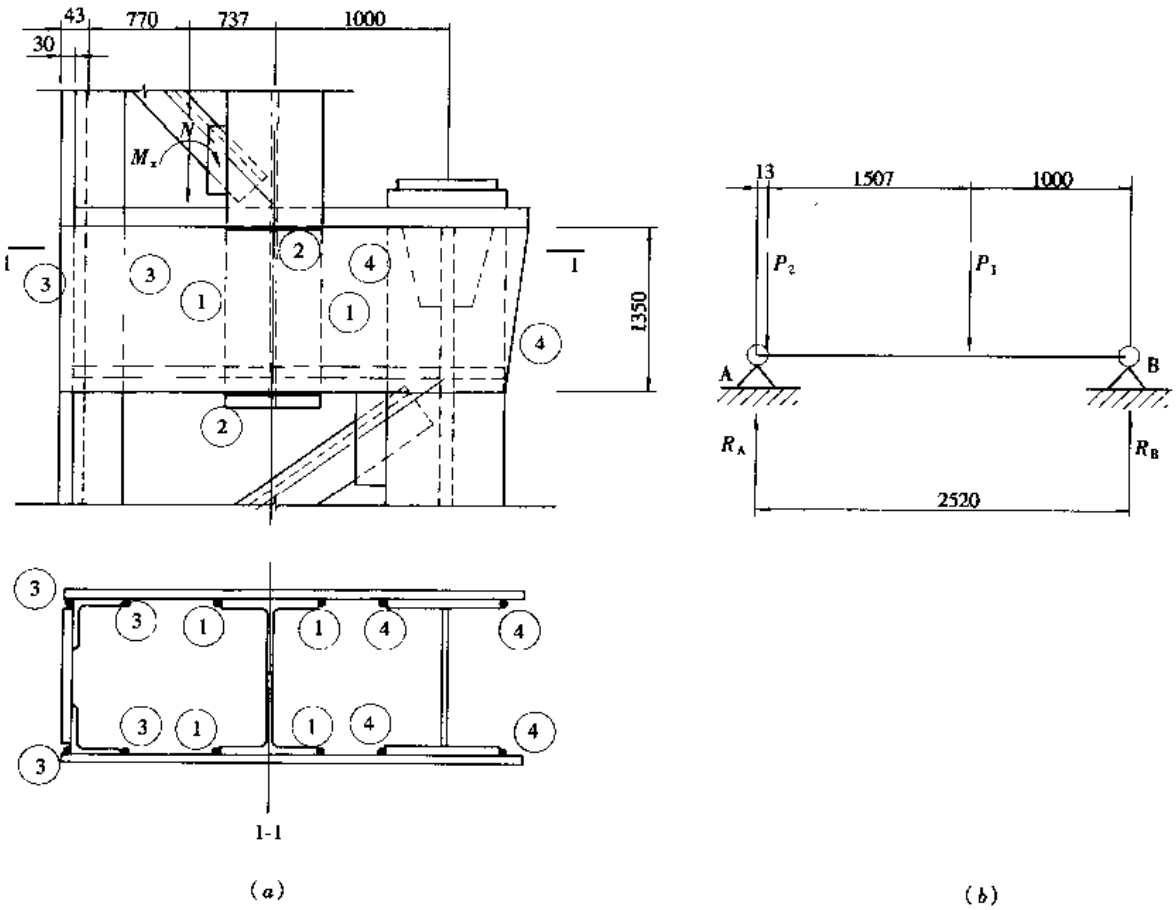


图 10-66 肩梁形式及计算草图

$$N = 6073\text{kN}$$

$$M = +3560\text{kN}\cdot\text{m}$$

选用肩梁腹板厚度为 $t_w = 30\text{mm}$（一块腹板的厚度），其截面模量 $W = \frac{1}{6} \times t_w h^2 = \frac{1}{6} \times 3 \times 135^2 = 9112.5\text{cm}^3$

假设计算简图偏于安全的计算，假设如图 10-66（b）所示中的 P_1 和 P_2 值为：

$$P_1 = \frac{6073 \times 77.0}{150.7} + \frac{3560 \times 100}{150.7} = 3103 + 2362 = 5465\text{kN}$$

$$P_2 = \frac{6073 \times 73.7}{150.7} - 2362 = 2970 - 2362 = 608\text{kN}$$

$$R_B = \frac{5465 \times 152 + 608 \times 1.3}{252} = 3300\text{kN}$$

$$R_A = \frac{5465 \times 100 + 608 \times 250.7}{252} = 2773\text{kN}$$

（1）肩梁腹板计算

一块腹板上所作用的最大弯矩和剪力分别为：

$$M_{max} = \frac{3300 \times 1}{2} \times 1 = 1650\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$V = \frac{3300}{2} = 1650\text{kN}$$

按公式（10-37）计算肩梁腹板的抗弯强度：

$$\frac{M_{max}}{\gamma_x W_n} = \frac{1650 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}}{1.05 \times 9112.5 \times 10^3} = 172.5\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

按公式（10-38）计算肩梁腹板的抗剪强度：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} = \frac{1.5 \times 1650 \times 10^3}{30 \times 1350} = 61.1\text{N/mm}^2 < f_v = 120\text{N/mm}^2$$

（2）连接焊缝计算

焊缝①共4条，取焊缝厚度 $h_1 = 14\text{mm}$

焊缝的有效长度 $l_1 = 4 \times 60h_1 = 4 \times 60 \times 14 = 3360\text{mm}$

焊缝②共4条，取焊缝厚度 $h_2 = 14\text{mm}$，焊缝的有效长度

$$l_2 = 4 \times 300 - 4 \times 14 \times 2 = 1088\text{mm}$$

$$\Sigma l = l_1 + l_2 = 3360 + 1088 = 4448\text{mm}$$

中段柱吊车肢与肩梁连接的焊缝剪应力为：

$$\tau = \frac{5465 \times 10^3}{0.7 \times 14 \times 4448} = 125.4\text{N/mm}^2 < 160\text{N/mm}^2$$

焊缝③共4条，焊缝厚度取 $h_3 = 12\text{mm}$，焊缝的有效长度 $l_3 = 4 \times 60 \times 12 = 2880\text{mm}$

$$R_A = 2773\text{kN}$$

$$\tau = \frac{2773 \times 10^3}{0.7 \times 12 \times 2880} = 114.6 < 160\text{N/mm}^2$$

焊缝④共4条，焊缝厚度取 $h_4 = 14\text{mm}$，焊缝有效长度取 $l_4 = 4 \times 60 \times 14 = 3360\text{mm}$

$$R_B = 3300\text{kN}$$

$$\tau = \frac{3300 \times 10^3}{0.7 \times 14 \times 3360} = 100.2\text{N/mm}^2 < 160\text{N/mm}^2$$

8. 柱脚计算

本例采用分离式柱脚，其形式如图10-67所示，柱脚计算可采用前面下段柱的屋盖肢和吊车肢截面稳定性计算的内力，即：

屋盖肢 $N_1 = 5410\text{kN}$

吊车肢 $N_2 = 3153\text{kN}$

（1）柱底板计算

1）柱底板尺寸

底板的高度按构造要求为：

$$L = 700 + 2 \times 20 + 2 \times 45 = 830\text{mm}$$

设底板宽度 $B = 780\text{mm}$

基础采用C20混凝土，$f_c = 9.6\text{N/mm}^2$，不考虑局部承压提高系数 β_c。则柱底板下混凝土的压应力为：

$$\text{屋盖肢 } \sigma_R = \frac{5410 \times 10^3}{830 \times 780} = 8.36\text{N/mm}^2 < 9.6\text{N/mm}^2$$

$$\text{吊车肢 } \sigma_d = \frac{3153 \times 10^3}{830 \times 780} = 4.87\text{N/mm}^2 < 9.6\text{N/mm}^2$$

2）底板厚度 t 的计算

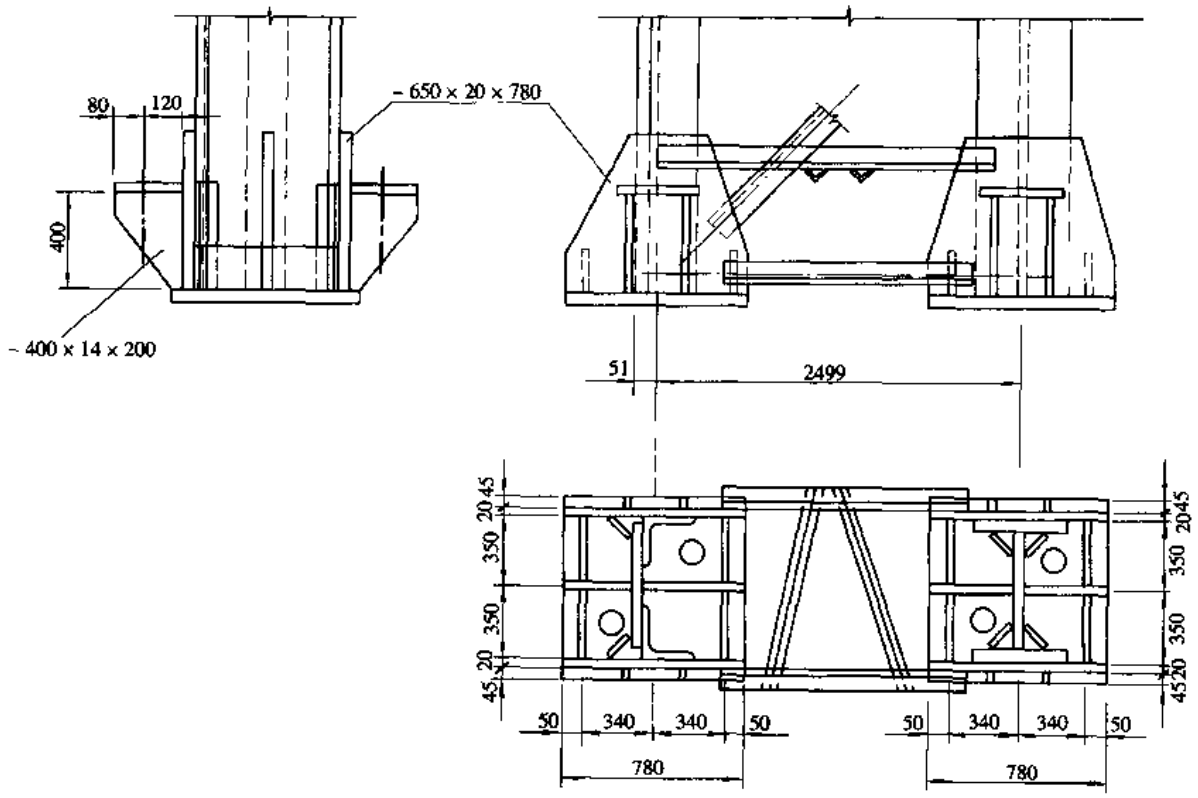


图 10-67 柱脚构造形式

A. 屋盖肢下的底板

板区 A $a_1 \times b_1 = 360 \times 376 = 135360\text{mm}^2$ $b_1/a_1 = \dfrac{376}{360} = 1.044$ 由表 10-4 查得 $\beta = 0.0515$，按公式（10-53）得：

$$M = \beta\sigma_R a_1^2 = 0.0515 \times 8.36 \times 360^2 = 55798\text{N}\cdot\text{mm}$$

由公式（10-52）得

$$t = \sqrt{\frac{6M}{f}} = \sqrt{\frac{6 \times 55798}{205}} = 40.4\text{mm}$$ 采用 40mm 厚

B. 吊车肢下的底板与屋盖肢的底板取同一厚度，而 $N_1 > N_2$，因此，可不必计算。

（2）锚栓计算

由本例 1 设计资料中取下段柱对锚栓最不利的内力组合为：

$$\text{内力组合①}\begin{cases} M_{min} = -6352\text{kN}\cdot\text{m} \\ N = 2593\text{kN} \end{cases}$$

$$\text{内力组合②}\begin{cases} M = -6163\text{kN}\cdot\text{m} \\ N_{min} = 2438\text{kN} \end{cases}$$

锚栓的最大拉力：

内力组合① $N_1 = \dfrac{-2593\ (1.289)\ +6352}{2.499} = 1204.3\text{kN}$

内力组合② $N_2 = \dfrac{-2438 \times 1.289 + 6163}{2.499} = 1208.7\text{kN}$

屋盖肢和吊车肢各采用2个锚栓，每个锚栓的拉力为：$\frac{1208.7}{2}=604.4\text{kN}$

由表10-6查得锚栓直径采用80mm

(3) 锚栓支承加劲肋的计算

1) 支承加劲肋截面计算

每个支承加劲肋承受的剪力为：

$$V=\frac{604.4\text{kN}}{2}=302.2\text{kN}$$

支承加劲肋采用 $-200\times14\times400$，其抗剪强度为：

按公式（10-58）$\tau=\frac{1.5V}{th}=\frac{1.5\times302.2\times10^3}{14\times400}=80.9\text{N/mm}^2<125\text{N/mm}^2$

2) 支承加劲肋与支承顶板的连接焊缝采用 $h_f=10\text{mm}$，焊缝长度为：$l_w=200-2\times10=180\text{mm}$

$$\tau=\frac{302.2\times10^3}{0.7\times2\times10\times180}=119.9\text{N/mm}^2<160\text{N/mm}^2$$

3) 支承加劲肋与靴板的连接焊缝采用 $h_f=10\text{mm}$ 焊缝有效长度 $l_w=400-2\times10=380$

$$\sigma_f=\frac{Ve}{\frac{1}{6}\times0.7nh_fl_w^2}=\frac{302.2\times10^3\times120\times6}{0.7\times2\times10\times380^2}=107.6\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f=\frac{V}{0.7nh_wl_w}=\frac{302.2\times10^3}{0.7\times2\times10\times380}=56.8\text{N/mm}^2$$

按公式（10-45）计算焊缝强度：

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2+\tau_f^2}=\sqrt{\left(\frac{107.6}{1.22}\right)^2+56.8^2}=104.9\text{N/mm}^2<160\text{N/mm}^2$$

(4) 柱脚加劲肋和靴板的计算

底板的荷载分布面积如图10-68（a）所示。

1) 柱脚加劲肋“1”的计算如图10-68（a），（b）所示。

$$q_1=8.36\times50=418\text{N/mm}$$

$$q_2=8.36\times\frac{376}{2}=1572\text{N/mm}$$

$$R=\frac{1}{2}\times418\times360+\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times1572\times360=216720\text{N}$$

$$M=\frac{1}{8}\times418\times360^2+\frac{1}{12}\times1572\times360^2=23.749\times10^6\text{N}\cdot\text{mm}$$

设加劲肋高为200mm，厚为20mm，按公式（10-37）计算抗弯强度

$$W=\frac{1}{6}\times20\times200^2=133333\text{mm}^3$$

按公式（10-38）计算　$\delta=\frac{23.749\times10^6}{1.2\times133333}=148\text{N/mm}^2<205\text{N/mm}^2$

抗剪强度：　$\tau=\frac{1.5V}{th}=\frac{1.5\times216720}{20\times200}=81.3\text{N/mm}^2<120\text{N/mm}^2$

加劲肋“1”与靴板及加劲肋“2”的连接焊缝。

设 $h_f = 10\text{mm}$ $\tau_t = \dfrac{216720}{2 \times 0.7 \times 10\ (200 - 2 \times 10)} = 86\text{N/mm}^2 < 160\text{N/mm}^2$

2）柱脚加劲肋“2”的计算，见图 10-68（a），（c）

$$q_1 = 8.36 \times 360 = 3010\text{N/mm}$$

由加劲肋“1”传来的集中荷载 $P = 2 \times R = 2 \times 216720 = 433440\text{N}$

加劲肋“2”近似地按悬臂梁计算；

$$\text{剪力 } V = 433440 + \frac{1}{2} \times 3010 \times 376 = 999320\text{N}$$

$$\text{弯矩 } M = \frac{1}{2} \times 3010 \times \frac{376^2}{2} + 433440 \times 376 = 269.359 \times 10^6\text{N} \cdot \text{mm}$$

设加劲肋高为 650mm，厚为 20mm，其截面模量为：

$$W = \frac{1}{6} \times 20 \times 650^2 = 1.408 \times 10^6\text{mm}^3$$

按公式（10-37）计算抗弯强度：

$$\sigma = \frac{269.359 \times 10^6}{1.2 \times 1.408 \times 10^6} = 159.8\text{N/mm}^2 < 205\text{N/mm}^2$$

按公式（10-38）计算抗剪强度：

$$\tau = \frac{1.5V}{th} = \frac{1.5 \times 999320}{20 \times 650} = 115.3\text{N/mm}^2 < 120\text{N/mm}^2$$

加劲肋“2”与柱的连接焊缝，设焊缝高度 $h_t = 20\text{mm}$

$$\sigma_f = \frac{M}{\frac{1}{6} \times 0.7nh_f l_w^2} = \frac{269.359 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 0.7 \times 2 \times 20\ (650 - 2 \times 20)^2} = 155.1\text{N/mm}^2$$

$$\tau_f = \frac{V}{0.7nt_t l_w} = \frac{999320}{0.7 \times 2 \times 20\ (650 - 2 \times 20)} = 58.5\text{N/mm}^2$$

按公式（10-45）计算焊缝强度：

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{155.1}{1.22}\right)^2 + 58.5^2} = 140\text{N/mm}^2 < 160\text{N/mm}^2$$

3）柱脚靴板计算，如图 10-68（a），（d）所示，靴板近似地按悬臂梁计算

$$q_1 = 8.36 \times 45 = 376.2\text{N/mm}$$

$$q_2 = 8.36 \times \frac{360}{2} = 1504.8\text{N/mm}$$

由柱脚加劲肋“1”传来的集中荷载 $P = 216720\text{N}$

设屋盖肢的靴板高为 650mm，厚为 20mm，吊车肢的靴板与此相同。靴板的最大剪力为：

$$V = 376.2 \times 354 + \frac{1}{2} \times 1504.8 \times 304 + 216720$$
$$= 578624\text{N}$$

最大弯矩为：

$$M = \frac{1}{2} \times 376.2 \times 354^2 + \frac{1}{2} \times \frac{304^2}{2} \times 1504.8 + 216720 \times 304$$
$$= 124.22 \times 10^6\text{N} \cdot \text{mm}$$

靴板的截面模量为：

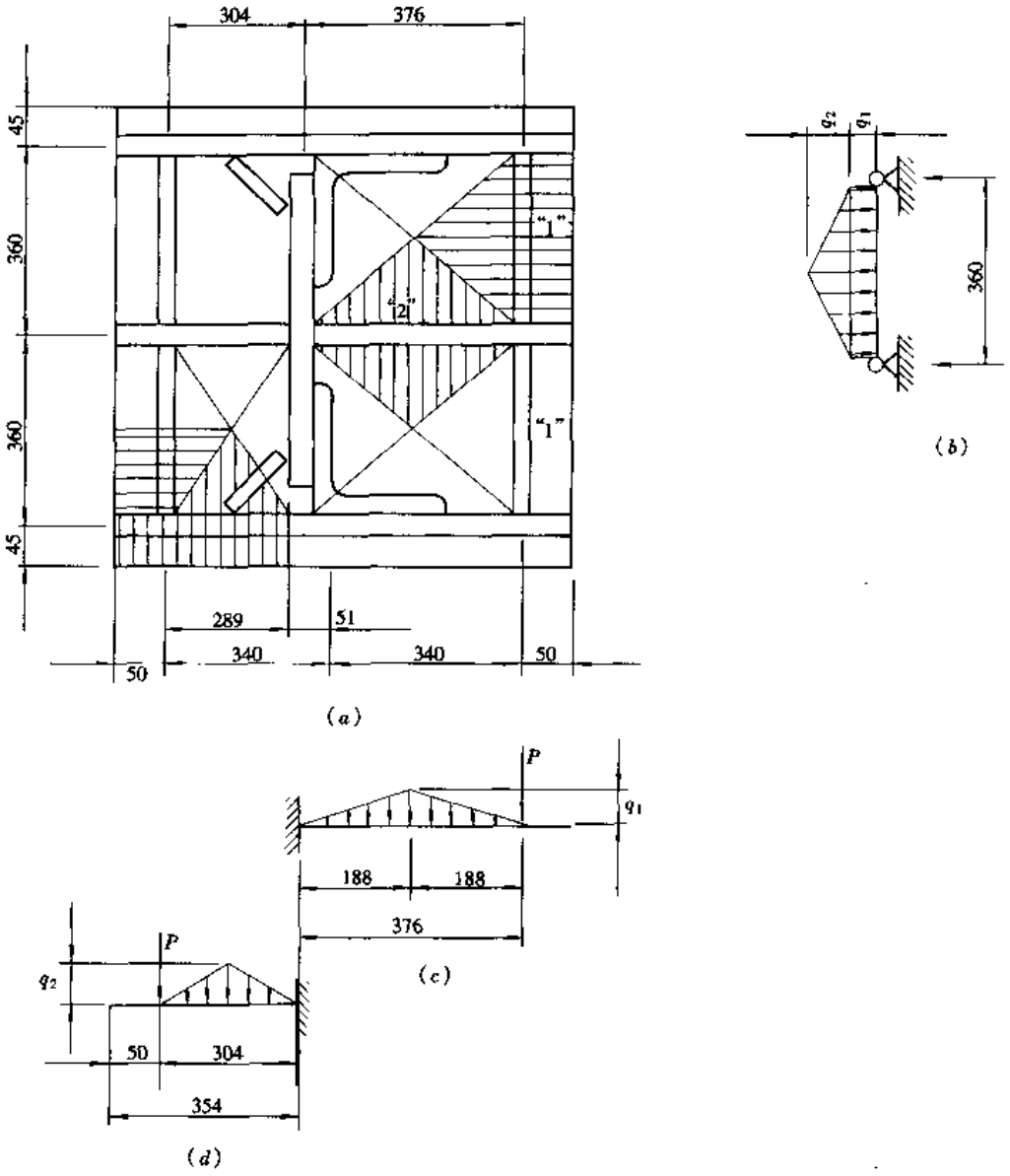


图 10-68　柱底板加劲肋计算草图

$$W = \frac{1}{6} \times 20 \times 650^2 = 1.4083 \times 10^6 \text{mm}^3$$

按公式（10-37）计算抗弯强度

$$\sigma = \frac{124.22 \times 10^6}{1.2 \times 1.4083 \times 10^6} = 73.5 \text{N/mm}^2 < 205 \text{N/mm}^2$$

按公式（10-38）计算抗剪强度

$$\tau = \frac{1.5 \times 578624}{20 \times 650} = 66.8 \text{N/mm}^2 < 120 \text{N/mm}^2$$

靴板与屋盖肢的角钢连接焊缝，可取屋盖支的内力 $N_1 = 5410\text{kN}$ 来进行计算。设焊缝厚度 $h_t = 20\text{mm}$，共四条焊缝。$\tau_t = \dfrac{5410 \times 10^3}{0.7 \times 4 \times 20\ (650 - 2 \times 20)} = 158.3 \text{N/mm}^2 < 160 \text{N/mm}^2$

(5) 柱肢与柱脚底板的连接计算（柱下端与底板接触面不铣平，柱肢内力全部由焊缝传至底板)。

1) 屋盖肢、靴板、加劲板与柱脚的连接设焊缝厚度 $h_f = 12mm$

焊缝总的有效长度为（近似地)：

靴板与底板的焊缝有效长度：

$$l_1 = 2\ [\ (900 - 10)\ +\ (900 - 240 - 2 \times 40 - 20)\ ]\ = 2900mm$$

柱腹板与底板的焊缝有效长度：

$$l_2 = 640 - 56 + 700 - 2 \times 200 - 56 - 20 = 808mm$$

加劲肋“1”与底板的焊缝有效长度

$$l_3 = 4 \times 2\ (360 - 2 \times 20 - 40 - 20)\ = 2080mm$$

加劲肋“2”与底板的焊缝长度：

$$l_4 = 2\ (780 - 30 - 2 \times 40)\ - 20 = 1320mm$$

$$\Sigma l_w = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 2900 + 808 + 2080 + 1320 = 7108mm$$

焊缝应力

$$\tau = \frac{5410 \times 10^3}{0.7 \times 12 \times 7108} = 90.6N/mm^2 < 160N/mm^2$$

本例车间中的柱间支撑设计详见［题 10-2］

【例题 10-2】 柱间支撑设计实例

1. 设计资料 同［例题 10-1］在该车间每一侧柱列中设置四道上段柱柱间支撑，二道中段柱和下段柱柱间支撑，均采用双片支撑，其形式如图 10-69 所示。

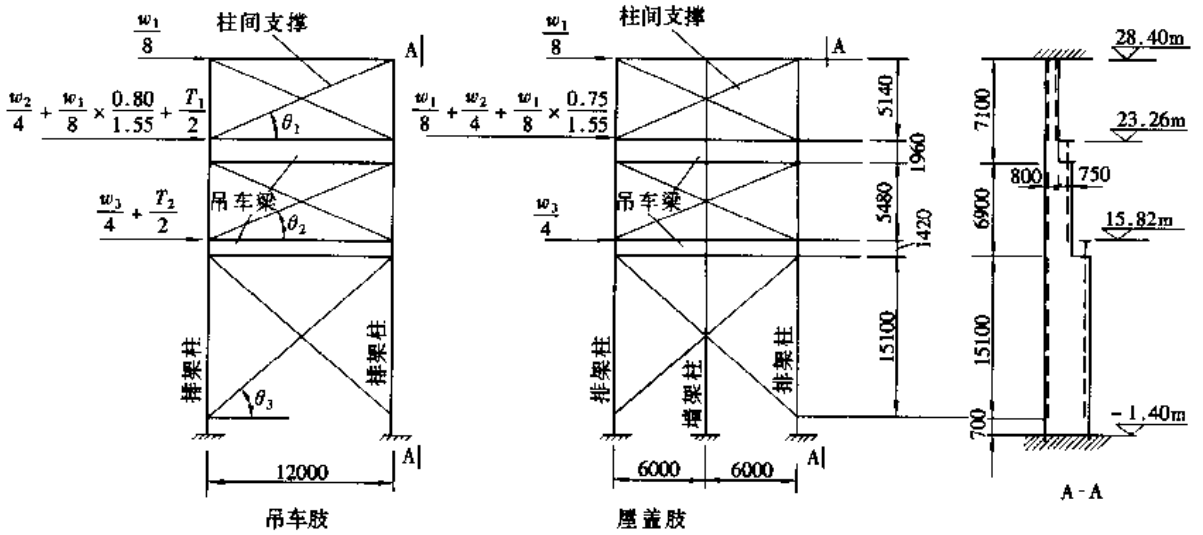


图 10-69 柱间支撑简图

2. 荷载计算

(1) 风荷载 车间两端山墙如图 10-70 所示，基本风压值取 $0.4kN/m^2$。地面粗糙度类别 B。按“建筑结构荷载规范”（50009—2001）规定：风压高度系数结合本例题情况，可近似地取：

高度在 15.82m 以下取 1.05

在 15.82～23.26m 间取 1.20

在 23.26～33.2m 间取 1.38

体型系数：山墙迎风面取 0.8，背风面取 0.5

风荷载的分项系数为 1.4

$$q_1 = 1.4 \times 1.05 \times 0.4 = 0.588\text{kN/m}^2$$

$$q_2 = 1.4 \times 1.2 \times 0.4 = 0.672\text{kN/m}^2$$

$$q_3 = 1.4 \times 1.38 \times 0.4 = 0.773\text{kN/m}^2$$

$$W_1 = (0.8+0.5)(18+0.65)\left[\frac{1.8}{2}+3.1+\frac{5.14}{2}\right]\times 0.773 = 123\text{kN}$$

$$W_2 = (0.8+0.5)(18+0.65)\left[\frac{5.14}{2}\times 0.773+\frac{7.44}{2}\times 0.672\right] = 108.8\text{kN}$$

$$W_3 = (0.8+0.5)(18+0.65)\left[\frac{7.44}{2}\times 0.672+\frac{15.82}{2}\times 0.588\right] = 173.4\text{kN}$$

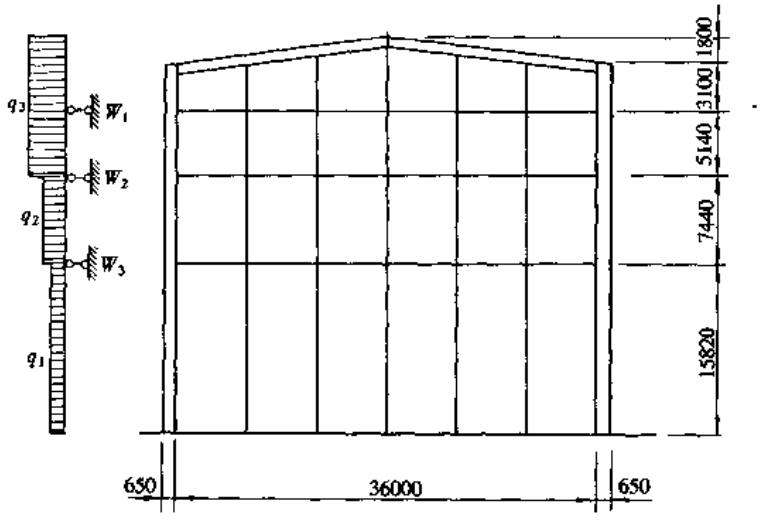


图 10-70　山墙计算简图

(2) 吊车纵向水平荷载

上层吊车按两台 200t/30t 计算，荷载分项系数取 1.4，最大轮压 $P_{max} = 460\text{kN}$，每台吊车有 4 个刹车轮。

$$T_1 = 2 \times 1.4 \times 0.1 \times 4 \times 460 = 515\text{kN}$$

下层吊车按两台 75t/20t 计算，$P_{max} = 390\text{kN}$，每台吊车有 2 个刹车轮，$T_2 = 2 \times 1.4 \times 0.1 \times 2 \times 390 = 218\text{kN}$

(3) 作用在每道柱间支撑中屋盖肢和吊车肢节点上的纵向水平荷载如图 10-69 所示。

3. 截面选择和计算

所有十字形交叉支撑均按拉杆计算。

(1) 上段柱的柱间支撑计算

支撑斜长　　$l_1 = \sqrt{12^2 + 5.14^2} = 13.054\text{m}$

吊车肢和屋盖肢的支撑内力为

$$N_1 = \frac{W_1}{8} \times \frac{1}{\cos\theta} = \frac{123}{8} \times \frac{13.054}{12} = 16.5\text{kN}$$

平面内的计算长度 $l_{ox} \approx \frac{13.054}{2} = 6.527\text{m}$

平面外的计算长度 $l_{oy} = 13.054\text{m}$，有 L50×6 缀条相连。

采用 L90×56×6 见图 10-71，$A = 8.56\text{cm}^2$；$i_x = 2.88\text{cm}$ $i_y = 1.58\text{cm}$

$$\lambda_x = \frac{652.7}{2.88} = 226.6 < 300$$

平面外由于有缀条连接，其折算长细比较小，可不必验算。

支撑杆的强度计算：

$$\sigma = \frac{N_1}{A_n} = \frac{16.5 \times 10^3}{8.56 \times 10^2} = 19.3\text{N/mm}^2 < 0.85 \times 215 = 182.75\text{N/mm}^2$$

(2) 中段柱的柱间支撑计算

支撑斜长 $l_2 = \sqrt{12^2 + 5.48^2} = 13.19\text{m}$

屋盖肢支撑的内力计算

$$N_{2R} = \left(2 \times \frac{W_1}{8} + \frac{W_2}{4} + 2 \times \frac{W_1}{8} \times \frac{0.75}{1.55}\right) \times \frac{1}{\cos\theta_2}$$

$$= \left(2 \times \frac{123}{8} + \frac{108.8}{4} + 2 \times \frac{123}{8} \times \frac{0.75}{1.55}\right) \frac{13.19}{12}$$

$$= 80\text{kN}$$

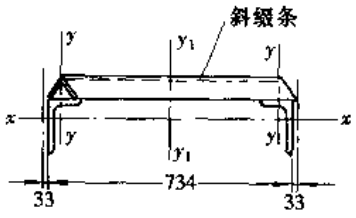


图 10-71 上段柱柱间支撑截面图

平面内的计算长度 $l_{ox} \approx \frac{13.19}{2} = 6.6\text{m}$

平面外的计算长度 $l_{oy} = 13.19\text{m}$，有 L56×6 相连。

采用［14a 如图（10-72)］所示，$A = 18.51\text{cm}^2$，$i_x = 5.52\text{cm}$，$i_y = 1.7\text{cm}$

$$\lambda_x = \frac{6.6 \times 10^2}{5.52} = 120 < 200$$

平面外由于有缀条连接，其折算细长比较小，可不必验算。

支撑杆的强度计算：

$$\sigma \approx \frac{N_{2R}}{A} = \frac{80 \times 10^3}{18.51 \times 10^2} = 43\text{N/mm}^2 < 215$$

吊车肢支撑内力计算

$$N_{2d} = \left(\frac{W_2}{4} + \frac{T}{2} + 2 \times \frac{W_1}{8} \times \frac{0.8}{1.55}\right) \frac{1}{\cos\theta_2}$$

$$= \left(\frac{108.8}{4} + \frac{515}{2} + \frac{123}{4} \times \frac{0.8}{1.55}\right) \frac{13.19}{12}$$

$$= 330.2\text{kN}$$

与屋盖肢支撑相同，选用［14a

强度计算：

$$\sigma = \frac{330.2 \times 10^3}{18.51 \times 10^2} = 178.4\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

(3) 下段柱的柱间支撑计算

支撑斜长 $l_3 = \sqrt{12^2 + 15.1^2} = 19.29\text{m}$

屋盖肢支撑的内力计算

$$N_{3R}=\left(N_{2R}\cos\theta_2+\frac{W_3}{4}+N_{2d}\cos\theta_2\times\frac{1.0}{2.55}\right)\times\frac{1}{\cos\theta_3}$$
$$=\left(80\times\frac{12}{13.19}+\frac{173.4}{4}+330.2\times\frac{12}{13.19}\times\frac{2.55-1.55}{2.55}\right)\times\frac{19.29}{12}$$
$$=376\text{kN}$$

平面内的计算长度 $l_{ox}=\frac{19.29}{2}=9.65\text{m}$

平面外的计算长度 $l_{oy}=19.29\text{m}$，但有 L75×6 缀条相连。

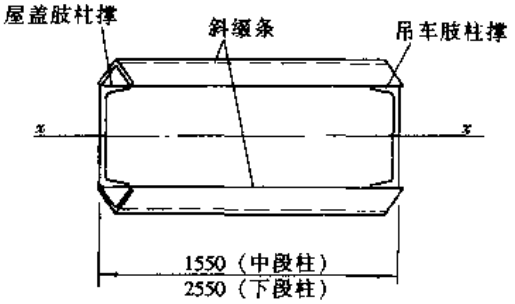


图 10-72　中段柱及下段柱柱间支撑截面图

采用［20a 如图（10-72）所示。$A=28.83\text{cm}^2$；$i_x=7.86\text{cm}$；$i_y=2.11\text{cm}$

$$\lambda_x=\frac{9.65\times10^2}{7.86}=122.8<200$$

平面外由于有缀条连接，其折算细长比较小，可不必验算。

支撑杆的强度计算：

$$\sigma=\frac{N_{3R}}{A}=\frac{376\times10^3}{28.83\times10^2}\approx130.4\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

吊车肢支撑内力计算

$$N_{3d}=\left(N_{2d}\cos\theta_2\times\frac{2.55-1}{2.55}+\frac{W_3}{4}+\frac{T_2}{2}\right)\frac{1}{\cos\theta_3}$$
$$=\left(330.2\times\frac{12}{13.19}\times\frac{1.55}{2.55}+\frac{173.4}{4}+\frac{218}{2}\right)\frac{19.29}{12}$$
$$=538\text{kN}$$

与屋盖肢支撑相同，选用［20a

强度计算

$$\sigma=\frac{538\times10^3}{28.83\times10^2}=186.6\text{N/mm}^2<215\text{N/mm}^2$$

（4）支撑与柱节点板的连接焊缝

1）上段柱柱间支撑的连接焊缝

L90×56×6 长肢连接，肢背焊缝采用 6mm 厚，$N_1=16.5\text{kN}$

其焊缝长度 $l_w=\frac{0.65\times16.5\times10^3}{0.7\times6\times160\times0.85}=18.8\text{mm}$

按表 4-7 中对侧焊缝的最小计算长度规定不得小于 $8h_f=8\times6=48\text{mm}$，可取 60mm。

肢尖的长度同样取 60mm

2）中段柱柱间支撑的连接焊缝

屋盖肢柱间支撑：

$N_{2R}=80\text{kN}$，［14a 肢背两侧焊缝厚度取 6mm

其每侧焊缝长度 $l_w=\frac{80\times10^3}{0.7\times2\times6\times160}=59.5\text{mm}$ 可取 80mm

吊车肢柱间支撑：$N_{2d}=330.2\text{kN}$，

［14a 肢背两侧焊缝厚度取 12mm

其每侧焊缝长度 $l_w=\dfrac{330.2\times10^3}{0.7\times2\times12\times160}=122.8$mm 可取 150mm

3）下段柱柱间支撑的连接焊缝

屋盖肢柱间支撑：$N_{3R}=376$kN

[20a 肢背两侧焊缝厚度取 14mm

其每侧焊缝长度 $l_w=\dfrac{376\times10^3}{0.7\times2\times14\times160}=120$mm 可取 150mm。吊车肢柱间支撑：$N_{3d}=538$kN

[20a 肢背两侧焊缝厚度取 14mm

其每侧焊缝长度 $l_w=\dfrac{538\times10^3}{0.7\times2\times14\times160}=172$mm 可取 200mm

4. 抗震验算

所有验算公式均直接引用建筑抗震设计规范 GB 50011—2001 中的相关公式

（1）纵向基本自振周期

参照附录 J 公式（5.1.1-1）

$$T_1=0.23+0.00254.1\sqrt{H^3}$$

$$=0.23+0.00025\times1\times36\sqrt{(28.4+1.4)^3}=1.69\ (\text{s})$$

（2）地震影响系数 α

$$\alpha_1=\left(\frac{T_g}{T_1}\right)\eta_2\alpha_{\max}$$

场地类别Ⅱ，第二组 $T_g=0.4$ $\zeta=0.05$ $r=0.9$ $\eta_2=1$

8 度 $a=0.2g$ 时 $\alpha_{\max}=0.16$

$$\alpha_1=\left(\frac{0.4}{1.69}\right)^{0.9}\times1\times0.16=0.27\times0.16=0.043$$

（3）柱顶纵向水平力 F

设柱顶重力荷载代表值 $G=3.5\text{kN/m}^2$

$$F=3.5\times144\times\frac{36}{2}\times0.043=390\text{kN}$$

风荷载换算至柱顶的 W 为

$$W=W_1+W_2\frac{23.3+1.4}{28.4+1.4}+W_3\frac{15.8+1.4}{28.4+1.4}=123+90+100$$

$$=313\text{kN}<390\text{kN}$$

如再考虑荷载分项系数 γ_{Eh}、γ_W 和承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}=0.8$ 后，F 与 W 的对比为

$$\frac{F}{W}=\frac{3901.30.8}{3131.4\ \ 1}=0.93<1$$

表明本例地震作用不控制。此外，尚未考虑下列的有利影响：

1）吊车空载引起的纵向水平力小于 2 台吊车满载引起的纵向刹车力；

2）在 GB50011—2001J.2 的柱间支撑地震作用效应及验算中，对斜杆长细比不大于 200 的斜杆截面，在抗拉验算中尚可考虑另一根压杆卸载的有利影响。

尚需指出，在地震区必须满足本章第 10.5.2 条的抗震构造要求。

11 墙　　架

11.1 一　般　说　明

11.1.1 墙架的组成

厂房的墙架围护结构承受由墙体传来的荷载并将荷载传递到厂房框架柱或基础上，这种结构构件系统称为墙架。墙架构件有横梁、墙架柱、抗风桁架和支撑等。本章主要说明用墙板、砌体、压型钢板、夹芯板和石棉瓦（轻质墙）等作为围护墙时的墙架结构的构造及计算。

11.1.2 围护墙的基本类型

1. 自承重砌体墙其墙体自重可由基础梁传至基础或直接传至条形基础上，而把风、地震等水平荷载传至厂房框架柱或墙架柱。240mm 厚自承重墙的高度一般不宜大于 15m（即 $H < 15$m）。当墙高 $H > 15$m 时，一般应设置墙梁，将上部墙重传至框架柱或墙架柱。

2. 轻质墙石棉瓦、瓦楞铁等轻质屋面通常悬挂在墙架横梁上，并通过横梁把墙体重量及水平荷载传至厂房框架柱或墙架柱上，而压型钢板、夹芯板通常为长尺的自承重墙，墙重直接传至基础。

3. 钢筋混凝土墙板和发泡水泥复合（太空）墙板（以下简称墙板）　其自重及水平荷载均通过墙板自身与柱的连接传至厂房框架柱或墙架柱上。

11.1.3 围护墙按厂房的围护要求分类

1. 封闭式：用围护墙和门窗将厂房全部封闭，如图 11-1（a）所示。

2. 开敞式：开敞式又可分为半开敞式（图 11-1b）和全开敞式（图 11-1c）两种。

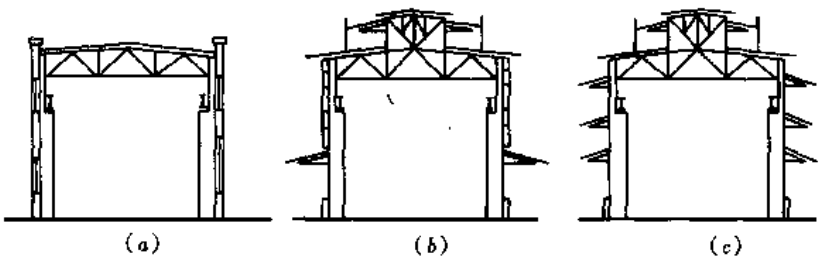


图 11-1　厂房的围护墙形式

（a）封闭式；（b）半开敞式；（c）全开敞式

开敞式一般用于南方较热地区防水要求不高的热加工厂房，例如发热量大和排烟通风要求高的炼钢、轧钢、钢坯库等厂房。开敞式或半开敞式厂房的挡雨板一般均采用轻质瓦材。

11.2 墙架结构的布置

11.2.1 纵墙墙架布置

1. 纵墙墙架一般由墙架柱、墙架横梁（用于轻质墙）和门架等构件组成。

纵墙墙架构件应根据统一模数、厂房高度、吊车制动结构等的构造要求和门洞位置及尺寸等条件合理布置。

2. 根据厂房建筑统一模数化基本规则要求，厂房边列柱柱距通常采用6m、7.5m、9m或3m的倍数。当边列柱的柱距≥12m时，一般宜设置墙架柱，但当采用与柱距等长的墙板或墙架横梁时，可不设置墙架柱。

3. 在设置墙架柱时，可利用屋架、托架和吊车梁的辅助桁架作为竖向荷载的支承点，以及吊车梁的横向水平制动结构（制动梁或制动桁架）和设置在托架处的屋架下弦纵向水平支撑作为水平支承点，以减少构件计算长度和截面尺寸。

（1）墙板、砌体墙的墙架布置

1）边列柱柱距≥12m的厂房，当设有单层吊车时，其墙架布置如图11-2所示。

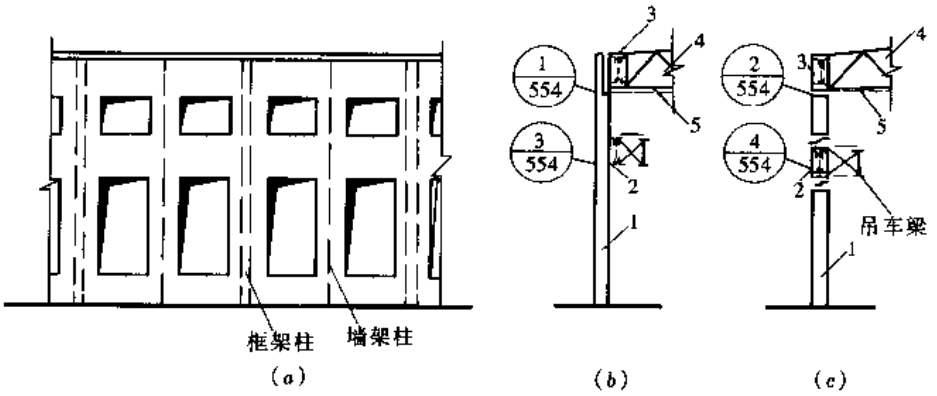


图11-2 单层吊车厂房的墙架布置

（a）围护墙立面；（b）墙架剖面，墙架柱整根到顶；（c）墙架剖面、墙架柱分上下两段

1—墙架柱；2—辅助桁架；3—托架；4—屋架；5—屋架下弦纵向水平支撑

图12-2（b）表示采用整根墙架柱到顶的方案。此时，将吊车梁制动结构及其辅助桁架移至墙架柱内侧，吊车梁制动结构的宽度尚应满足水平刚度的要求，即吊车梁的制动结构由一台最大吊车横向水平荷载所产生的水平挠度不应超过其容许值（见表2-13）。在采用整根墙架柱方案时，吊车梁系统和屋架纵向支撑可作为墙架柱的水平支承点。

当采用整根墙架柱致使吊车梁制动结构宽度不能满足水平刚度要求时，则应采用图11-2（c）所示的将墙架柱分为上、下两段设置的方案。此时，下段柱支承在基础上，以吊车梁下弦水平桁架作为下段柱的上端水平支承点。而上段柱的支承形式有以下两种：

A. 柱上端吊挂在托架的中间腹杆上，柱下端以吊车梁制动结构作为水平支承点，其竖向荷载则全部由托架承受。

B. 柱下端支承在辅助桁架上，柱上端以屋架纵向水平支撑作为水平支承点，其竖向荷载全部由辅助桁架承受。

2）边列柱柱距≥12m的厂房，当设有双层吊车时，其墙架布置如图11-3所示。

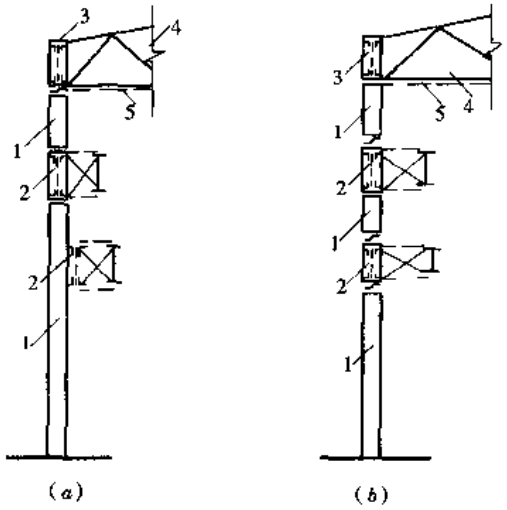


图 11-3　双层吊车厂房的墙架布置
（a）墙架柱分上下两段；
（b）墙架柱分上中下三段
1—墙架柱；2—辅助桁架；3—托架；
4—屋架；5—屋架下弦纵向水平支撑

图 11-3（a）表示自上层吊车辅助桁架以下部分采用整根柱，自上层吊车辅助桁架以上部分设短钢柱的方案。此时，将下层吊车梁的制动结构及辅助桁架移至墙架柱内侧，同样吊车梁制动结构的宽度尚应满足水平刚度的要求。当因下层吊车梁的制动结构内移致使其不能满足水平刚度的要求时，则应采用图 11-3（b）所示的将墙架柱分为上、中、下三段设置的方案。各段墙架柱的支承形式可参照图 11-2（c）要求来确定。

3）采用墙板或砌体为围护结构时的墙架布置如图 11-4 所示。

（2）轻型墙的墙架结构布置

1）压型钢板、夹芯板、石棉瓦等轻瓦材墙的墙架系由横梁及其拉条、窗镶边构件、墙架柱、抗风桁架等构件组成。图 11-5 是厂房纵向墙架的布置图，其中图 11-5（a）为整体式体系，图 11-5（b）、（c）为分离式体系。整体式为厂房柱兼墙架柱；分离式为厂房柱不兼墙架柱另设小墙架柱。

横梁的跨度一般采用 6m、7.5m 或 9.0m。当厂房框架柱间距≥12m 时，应设置中间墙架柱以支承横梁。

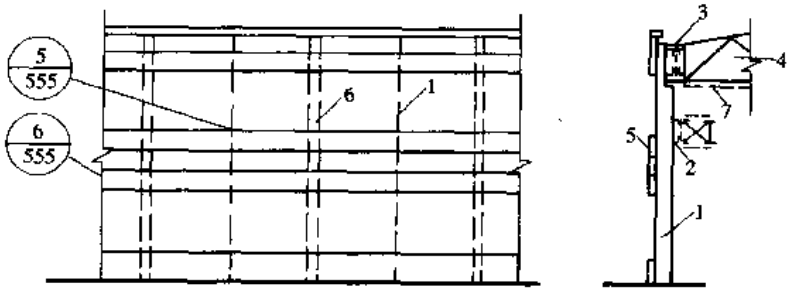


图 11-4　采用墙板或砌体为围护墙体的墙架布置示例
1—墙架柱；2—辅助桁架；3—托架；
4—屋架；5—墙板；6—厂房柱；7—屋架下弦纵向水平支撑

横梁的间距 a 取决于瓦材的尺寸和强度，对石棉瓦一般取 $a = l -$（100～200）mm，其中 l 为瓦材长度。当水平风荷载较大且瓦材的强度不足时，横梁间距可取为 $a' = a/2$。对压型钢板等轻质墙面可根据板型、风荷载大小选用。为了减少横梁在竖向荷载下的计算跨度，可在横梁间设置拉条。拉条将竖向荷载传至顶部（或窗口下）的加强横梁（图11-5 a）或由斜拉条传至柱上（图 11-5b）。

2）当墙架采用分离式体系而厂房框架柱处设置墙架柱时，此墙架柱应与框架柱相连接并支承于共同的基础上（图 11-5c）。

同图 11-2、3 中间墙架柱可用支承式和悬吊式。支承式墙架柱将竖向荷载全部传至基

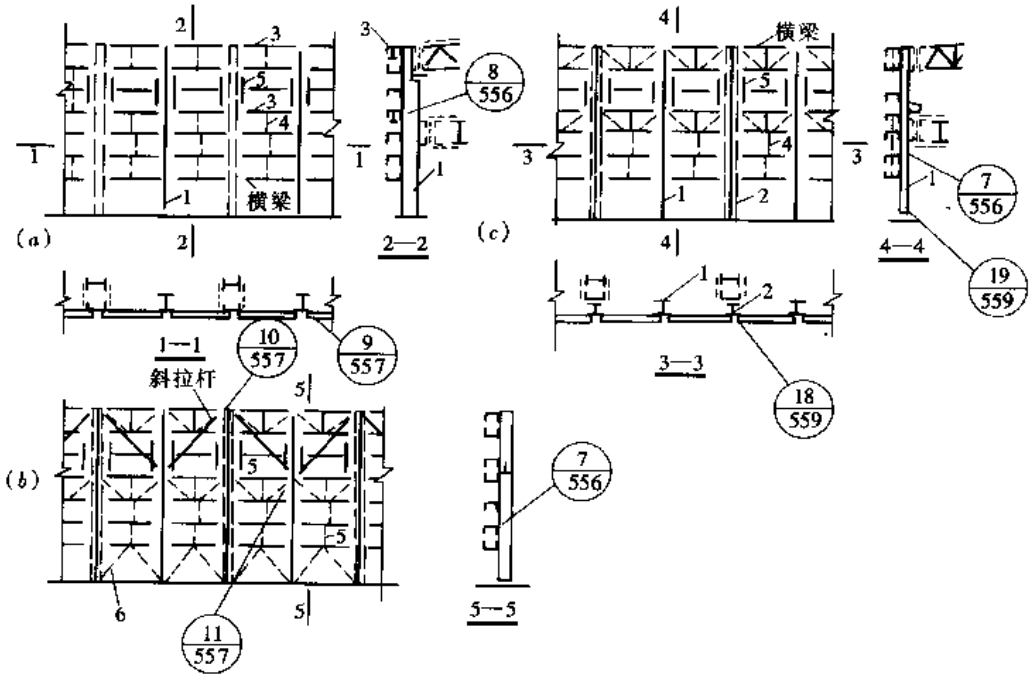


图 11-5 轻型墙的墙架布置

(a) 加强横梁及中间墙架柱；(b) 墙架杆悬吊或支承式；(c) 框架柱处有墙架柱

1—中间墙架柱；2—框架柱处的墙架柱；3—加强横梁；4—拉条；

5—窗镶边构件；6—斜拉条（建议设）

础，悬吊式墙架柱是根据具体情况将其吊挂于吊车梁辅助桁架上（图 11-5*c*）、托架上或顶部的边梁（边桁架）上，或用斜拉杆吊于两侧的柱上（图 11-5*b*）。悬吊式墙架柱下端用椭圆孔螺栓（*c* 级）与基础相连（图 11-33），使其不传递竖向力而只传递水平力。这样可节约大部份基础材料，且使墙架柱部分或全部为拉弯构件，受力情况有所改善。

不论支承式或悬吊式中间墙架柱，均利用屋盖的纵向平面支撑（有时利用排水天沟）作为上端的水平支承点，并利用吊车梁的制动结构或下翼缘水平支撑作为中部的水平支承点。

11.2.2 山墙墙架布置

1. 山墙墙架的布置与纵墙墙架类似，但应注意以下各点：

(1) 山墙墙架柱间距宜与纵墙的间距相同（一般采用 6m），使外墙围护构件尺寸统一。

(2) 山墙墙架柱上端宜尽量使其水平支承于屋架横向支撑节点上（图 11-6*a*）。当墙架柱位置与横向支撑节点不重合时，应设置分布梁，把水平荷载传至支撑节点处（图 11-6*b*）。

(3) 山墙墙架柱通常采用支承式，当下部需要局部或全部敞开时，应在洞口上缘处设置加强抗风桁架（见图 11-28）以承受竖向力和水平力。也可利用雨篷坡面的平面支撑代替水平桁架，与纵墙墙架类似，有条件时也可采用悬吊式墙架柱。

(4) 山墙两侧框架柱处的墙架柱称为角柱。角柱的截面比其他墙架柱为小，应采用钢板或角钢与框架柱相连（参见图 11-27），以保证其强度和稳定性。

(5) 当厂房柱高度≥18m 时，宜设置抗风桁架作为中间墙架柱（抗风柱）的水平支

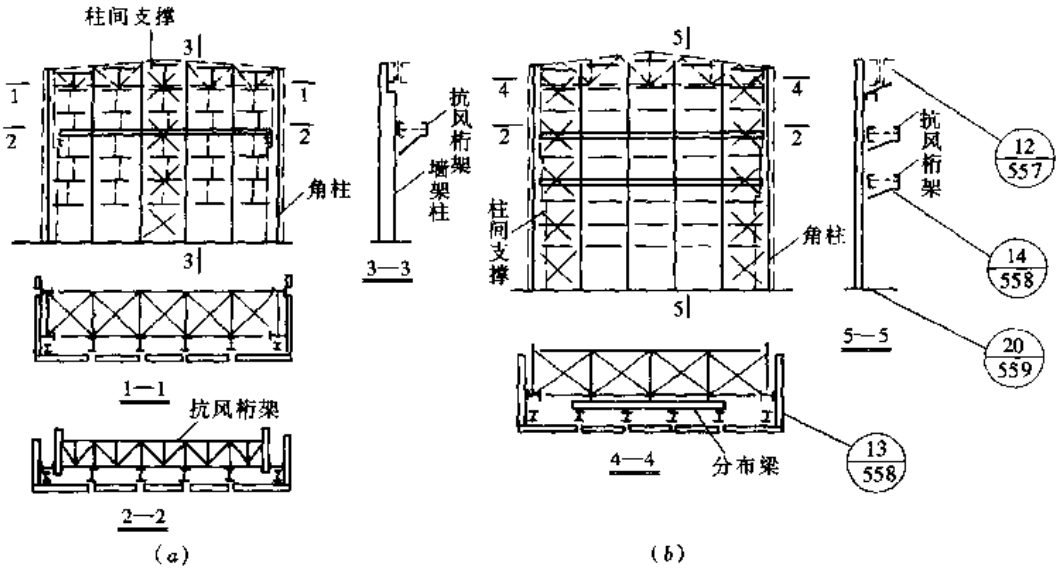


图 11-6　山墙墙架布置

承。抗风桁架一般设置在吊车梁上翼缘标高处，以便兼作走道，与该处的纵向走道联通，其竖向由连于墙架柱的斜撑支承，并以此斜撑来减少桁架弦杆平面外的计算长度。

(6) 当厂房较高或吊车顿位较大时，为保证山墙的刚度，在墙架柱间宜设置柱间支撑。对单跨厂房一般设置一道柱间支撑（图 11-6*a*），当厂房高度与跨度之比较大时（例如高度接近跨度的 2 倍时），宜设置两道柱间支撑（图 11-6*b*）。对等高的多跨厂房，可仅在两侧跨的山墙设置柱间支撑；对不等高多跨厂房，应在高跨和低跨分别设置。

在柱间支撑的节点处，宜设置通长的水平系杆作为未与柱间支撑相连的墙架柱的侧向支承点。图 11-6（*a*）的这种系杆应为刚性的，若角柱与厂房框架柱有可靠的连接时，也可设计为柔性的。

11.2.3　厂房墙面有大门洞时的墙架布置

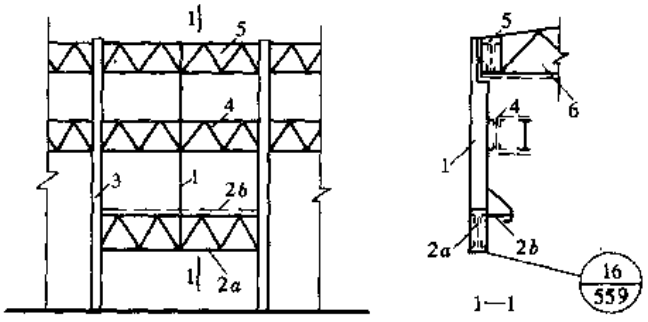


图 11-7　纵墙有门洞时的墙架布置示例
1—墙架柱；2*a*—门架的竖向桁架；2*b*—门架的水平桁架；3—厂房柱；4—辅助桁架；5—托架；6—屋架

1. 工业厂房的工艺布置和通风要求有时要求在纵墙、山墙设置不同用途的披屋、火车大门，或敞开。此时，所需门洞的尺寸往往大于通常采用的 6m 柱距，以致必须采取抽柱的办法来加大柱距，个别情况下，边柱柱距可达 36m。有些厂房根据生产工艺要求在同一跨间纵向长度的局部范围内设有双层吊车，而在其他部分则为单层吊车，因而造成在同一跨间内的屋面出现两种标高，在高低屋面连接处存在着封墙问题。在上述两种情况下均需设置门架来支承上部墙架结构。

2. 门架通常由竖向桁架和水平桁架组成，其竖向桁架承受门架以上的墙架柱传来的竖向荷载，其水平桁架则承受风荷载等水平荷载。纵墙有门洞时的墙架布置如图 11-7 所示。

3. 山墙有门洞时的墙架布置如图 11-8 所示。

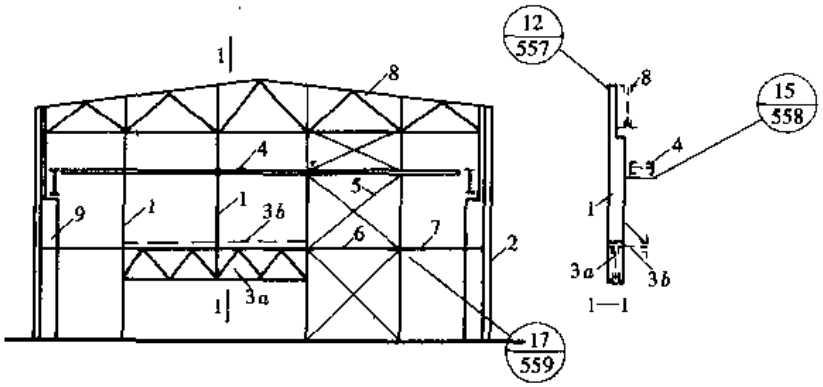


图 11-8 山墙有门洞时的墙架布置示例

1—墙架柱；2—角柱；3a—门架的竖向桁架；3b—门架的水平桁架；
4—抗风桁架；5—山墙柱间支撑；6—压杆；7—水平系杆；8—屋架；9—厂房柱

11.2.4 高低跨房屋的悬墙墙架布置

见图 11-9（a）。

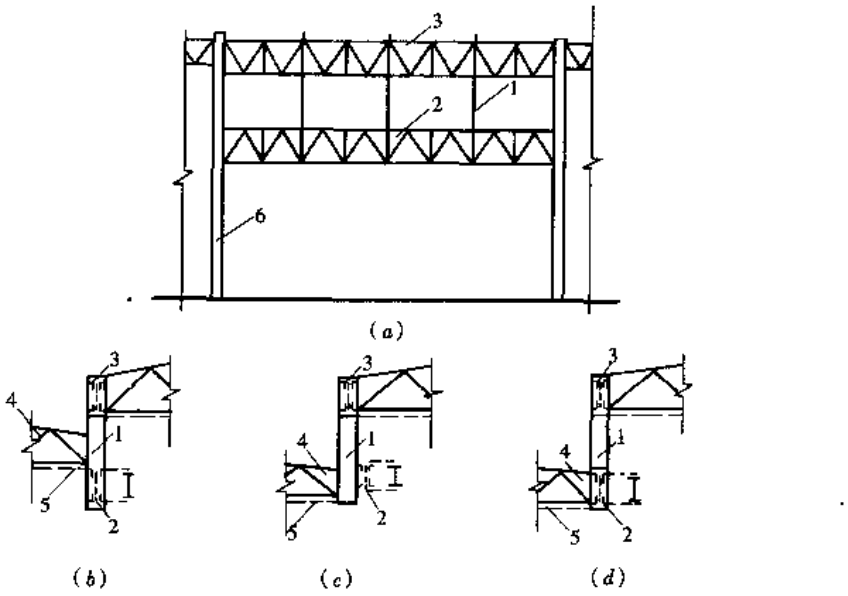


图 11-9 高低跨封墙的墙架布置示例

1—墙架柱；2—辅助桁架；3—托架；4—低跨屋架；
5—低跨屋架下弦纵向水平支撑；6—厂房柱

1. 对于高低跨厂房，当柱距≥12m 时，其高低跨处之高跨墙面的墙架布置应根据厂房的具体情况来确定，其布置示例如图 11-9 所示。

2. 当低跨屋架与高跨的吊车梁不在同一标高时，可将低跨屋架支承在墙架柱上。此时，墙架柱可吊挂在高跨托架上，其下端以高跨吊车梁的制动结构作为水平支承点，如图 11-9（b）所示。这种作法除了高跨必须设置屋架纵向水平支撑外，低跨屋架下弦纵向水平支撑也应适当加强，而且低跨屋架必须在高跨吊装完成后才能吊装。

3. 当低跨屋架与高跨吊车梁标高基本一致时，应尽可能把吊车梁的辅助桁架内移，

以便于将吊挂在托架上的墙架柱延伸下来，并以高跨吊车梁的下弦水平支撑作为墙架柱悬臂端的水平支点，如图 11-9（c）所示。这种作法在低跨屋架下弦的纵向水平支撑亦应适当加强，并作为墙架柱下端的水平支点。

4. 当低跨屋架与高跨吊车梁的标高基本一致，但高跨辅助桁架不能内移时，低跨屋架可支承在高跨的辅助桁架上，此时辅助桁架与托架构成一个桁架，如图 11-9（d）所示。为了减少高跨吊车的动力荷载对低跨屋面的影响，高跨吊车梁的制动梁（或制动桁架）应具有较大的刚度，通常，考虑由一台最大吊车横向水平荷载（不考虑动力系数）所产生的水平变形值不应超过辅助桁架跨度的 1/2000。同时，辅助桁架在竖向荷载作用下所产生的垂直挠度亦不应超过跨度的 1/1000。当采用这种作法时，低跨屋架下弦纵向水平支撑亦应适当加强，以确保厂房的水平刚度。

5. 同一跨间内，在厂房纵向有高低屋面时，其封墙的墙架布置可采用以下的作法。

（1）将墙架柱吊挂在高屋面的屋架上，其竖向荷载由屋架承担，屋架上、下弦横向水平支撑作为墙架柱顶部的水平支承点，墙架柱的下端水平支承点需设置水平桁架。

（2）在低屋面处设置竖向桁架和水平桁架以支承墙架柱竖向荷载及水平荷载，并作为墙架柱下端的水平支承点（图 11-10）。

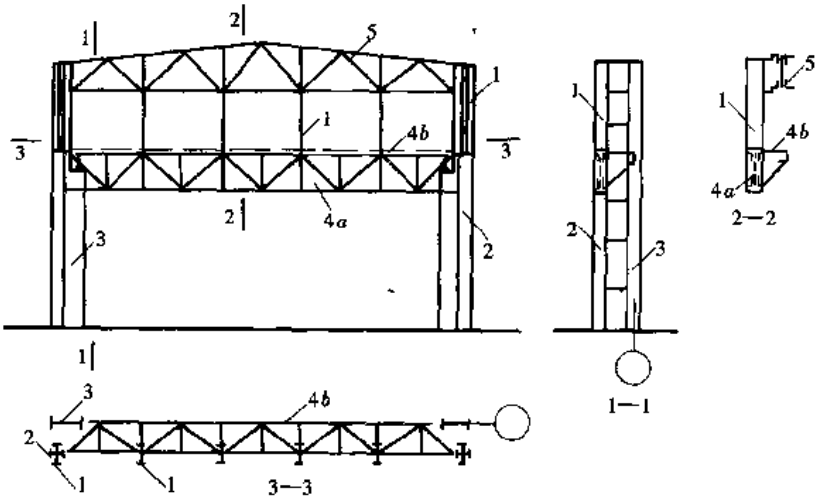


图 11-10　同一跨间内高低屋面处的墙架布置示例

1—墙架柱；2—角柱；3—厂房柱；4a—门架竖向桁架；4b—门架水平桁架；5—屋架

11.3　墙架构件的截面计算

11.3.1　墙架结构的荷载

1. 竖向荷载：包括墙体材料重量，玻璃窗重量（0.4～0.5kN/m^2），雨篷上的活荷载（屋面均布活荷载 0.50kN/m^2 或雪荷载，有时还有积灰荷载），以及墙架构件自重。

2. 水平风荷载：其基本风压、风载体型系数和风压高度变化系数，均按《建筑结构荷载规范》（GB 50000—2001）采用；对墙架横梁尚应考虑局部风压体型系数和阵风系数。

11.3.2　墙架横梁的截面选择

1. 墙架横梁通常用于轻型墙的墙架结构中，承受墙体自重等竖向荷载和水平风荷载，

是一种双向受弯构件。但当采用压型钢板等自承重墙时可不考虑墙体竖向荷载。

2. 墙架横梁的截面形式如图 11-11 所示。一般的横梁，水平风荷载是主要荷载，宜采用平放的槽钢（图 11-11*a*）；当跨度大于 6m 且风荷载较大时，宜采用平放的普通工字钢或 H 型钢（图 11-11*b*）。

3. 承受较大竖向荷载的加强横梁，可用槽钢和工字钢的组合截面（图 11-11*c*、*d*）或腹板立放的焊接工字型钢或 H 型钢（图 11-11*e*）截面。

4. 在窗框上、下的横梁，有时采用钢板和槽钢或双槽钢的组合箱形截面（图 11-11*f*、*g*）。

5. 采用冷弯薄壁型钢的横梁时，可采用图 11-11（*h*）、（*i*）的形式。

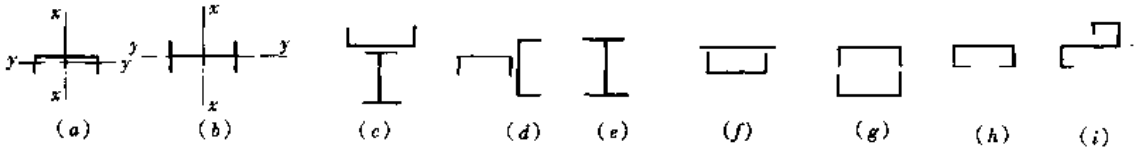


图 11-11 墙架横梁的截面形式

6. 槽钢横梁的槽口可向上或向下，槽口向上时便于与柱连接，但容易积灰积水，故可根据设计，选用槽口向上或向下。

7. 墙架横梁的强度根据公式（3-2），按下式计算

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leqslant f \tag{11-1}$$

式中 M_x——水平风荷载对 x 轴（平行于墙面的主轴）的弯矩；

M_y——竖向荷载对 y 轴的弯矩；

M_{nx}、M_{ny}——对 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩，对平放的槽钢截面 W_{ny} 取为 W_{nymin}；当采用冷弯薄壁型钢时采用 W_{enx}、W_{eny}；

γ_x、γ_y——截面塑性发展系数，对平放的槽形和工字形截面 $\gamma_x = 1.05$、$\gamma_y = 1.20$，当采用冷弯薄壁型钢时 γ_x、$\gamma_y = 1$ 弯矩 M_x 和 M_y 的取值应根据拉条的设置情况参照 7.1 节采用。

8. 墙架横梁的稳定性应按下式计算：

（1）普通型钢

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} + \frac{M_y}{\gamma_x W_y} \leqslant f \tag{11-2}$$

式中 φ_b——梁的整体稳定系数，按表 3-4 的规定采用。拉条可视为横梁的侧向支承。

（2）冷弯薄壁型钢"参照第 7.1.4 节关于冷弯薄壁型钢檩条的方法计算。

9. 墙架横梁应按荷载的标准值进行挠度计算，其容许挠度值见表 11-1。

墙架横梁的容许挠度 表 11-1

项 次	类 别	竖直方向	水平方向
1	轻型墙的一般横梁	—	$l/200$
2	带有玻璃窗的横梁	$l/200$（≤10）	$l/200$
3	支承墙架柱的加强横梁	$l/300$	$l/200$
4	砌体自承重墙的抗风横梁	—	$l/300$

注：l 为横梁跨度，对有拉条（或其他竖向支承构件）的横梁，竖直方向的 l 为拉条至拉条或拉条至横梁支座的距离。

10. 当横梁兼作墙架柱侧向支承的刚性系杆时，应使其长细比 $\lambda \leqslant 200$，并应按压弯构件进行计算，所受轴向力 N 可取：

$$N = \frac{A_f f}{85}\sqrt{\frac{f_y}{235}} \qquad (3\text{-}62)^{\times}$$

式中　A_f——所支承墙架柱的受压翼缘截面面积。

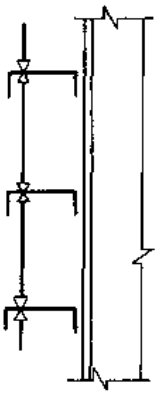


图 11-12　拉条与横梁的连接位置

11.3.3　拉条的截面选择

拉条视为墙架横梁的竖向支承点。因此，拉条的内力 N 应按各连续梁支座反力之和计算。

横梁的拉条一般采用直径 $d = 12\text{mm}$ 的圆钢，也可用小角钢或扁钢作成。圆钢拉条应按下式计算：

$$\sigma = \frac{N}{A_e} \leqslant f \qquad (11\text{-}3)$$

式中　A_e——圆钢螺纹处的有效截面面积。

当采用挂板时，拉条与横梁的连接位置应偏向墙面一侧（图 11-12）以减少墙体自重对横梁的偏心影响。当采用自承重墙时则相反，以提高横梁在风吸力下的稳定性。

11.3.4　墙架柱的截面选择

1. 一般的墙架柱承受竖向荷载产生的轴心力及偏心弯矩，以及水平风荷载产生的弯矩，是压弯或拉弯（墙架柱的悬吊部分）构件。砌体自承重墙的墙架柱往往只承受水平风荷载（略去自重），实际上是一种竖放的受弯构件。

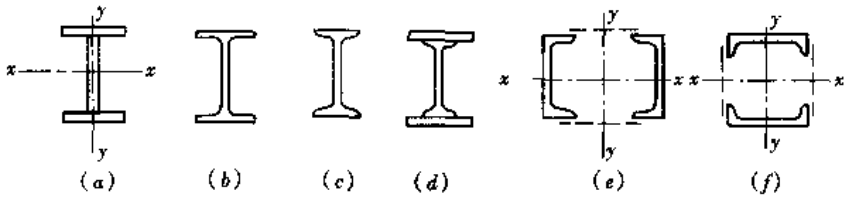


图 11-13　墙架柱的截面形式

2. 墙架柱有实腹式和格构式两种，通常采用实腹式柱，其常用截面形式有焊接工字钢、H 型钢、普通工字型钢、用钢板加强的普通工字型钢（图 11-13a、b、c、d）等。他们的腹板均垂直于墙面。

格构式柱适用于在弯矩作用平面外（对 y 轴）需要加强刚度的墙架柱，一般采用双槽钢作成。当槽钢腹板垂直于墙面时（图 11-13e），缀件宜用缀板以免缀件和横梁相碰；当槽钢腹板平行于墙面时（图 11-13f），缀件应用缀条。以增加柱的刚度。

3. 墙架柱的内力应根据其支承情况所确定的计算简图进行计算，当计算由竖向荷载偏心作用产生的弯矩和水平风荷载产生的弯矩时，应将墙架柱视为支承于屋盖支撑、抗风桁架、吊车梁制动结构、基础等的连续梁（图 11-14）。

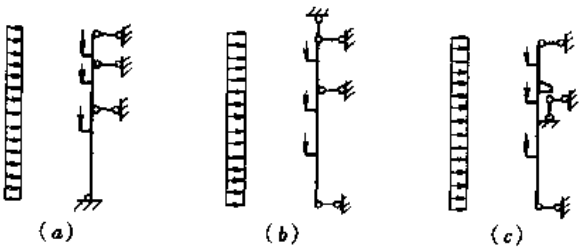


图 11-14　墙架柱的计算简图

(a) 支承式；(b)、(c) 悬吊式

墙架柱与基础的连接一般采用铰接，以简化连接构造，并节约基础材料。

4. 墙架柱垂直于墙面的截面高度不宜小于水平支点距离的 1/40，通常取为 400～600mm，悬吊式墙架柱的截面高度可取小些。

5. 实腹式墙架柱的强度和整体稳定性应按表 3-19 的规定计算，受压板件的宽厚比应满足局部稳定的要求（表 3-19）。

6. 受压受弯的格构式墙架柱，当弯矩绕虚轴作用时（图 11-13），应按表 3-21 有关规定计算弯矩作用平面内的整体稳定性和单肢稳定性；当弯矩绕实轴作用时（图 11-13*e*），整体稳定性计算与实腹箱形截面相同，但弯矩作用平面外的长细比应取换算长细比。

7. 墙架柱的容许长细比值：压弯构件为 $[\lambda]=150$；拉弯构件为 $[\lambda]=250$。计算长度如下：

（1）在墙架柱与基础为铰接的情况下，墙架柱弯矩作用平面内的计算长度取为该平面内支承点（基础、抗风桁架、屋盖平面支撑、吊车梁或吊车桁架的制动结构等）间的距离。

（2）弯矩作用平面外的计算长度：当设有通长刚性系杆，或虽为柔性系杆但系杆与框架柱（或与框架柱可靠连接的墙角柱）连牢时，取为系杆之间的距高；当有墙架横梁时，也可利用横梁代替系杆，但此横梁应考虑设置隅撑支承墙架柱的内翼缘，如图 11-23 所示。

（3）与墙架柱有可靠连接的大型钢筋混凝土墙板（例如与柱焊接的墙板），可视为墙架柱的弯矩作用平面外的支承。

8. 墙架柱在水平风荷载作用下，可视为单跨简支梁按下式计算其水平挠度：

$$v=\frac{5}{384}\cdot\frac{w_k l^4}{EI_x}\leqslant\frac{l}{400} \tag{11-4}$$

式中 w_k——均布线风荷载的标准值；

l——墙架柱支点间最大距离。

9. 墙架柱采用焊接工字形截面时，其翼缘板与腹板的连接焊缝可按构造采用，一般取 $h_f=6\sim8$mm。

格构柱应按第 10 章有关规定设置横隔。

11.3.5 抗风桁架的计算

1. 抗风桁架作为墙架的水平支点，可减少柱承受水平风荷载的跨度并减少柱的计算长度。通常在山墙抗风桁架上设置走道与两侧的吊车梁或吊车桁架上的走道相联通。

抗风桁架的截面高度一般取为跨度的 1/16～1/12。跨度较小或风荷载较大时取较大值，反之取较小值。

2. 抗风桁架在墙架柱传来的水平集中荷载作用下，杆件内力按简支桁架进行分析。

兼作走道的抗风桁架（图 11-28），当走道板支承于横腹杆上或直接支于弦杆上时，横腹杆和弦杆承受由竖向荷载产生的弯矩。竖向荷载包括桁架杆件自重、走道自重以及检修活荷载。此活荷载的标准值无特殊要求时可取为 $2.0kN/m^2$。

3. 抗风桁架各杆件的截面形式和计算方法与普通钢腹架相同。由于弦杆往往承受桁架平面外的弯矩，通常采用槽钢截面。

4. 作为连续墙架柱支承的抗风桁架，宜按以下近似公式计算其水平挠度：

$$v=\frac{M_k l^2}{9EI}\leqslant\frac{l}{1000} \tag{11-5}$$

式中　M_k——水平风荷载标准值产生的桁架跨中最大弯矩；

l——抗风桁架水平跨度；

I——抗风桁架弦杆截面对桁架形心轴的惯性矩。

5. 当厂房山墙墙架柱高度≤15m时为简化计算和构造，无需设置抗风桁架，此时墙架柱因减少了抗风桁架的一个支点，弯矩和截面有所增大。

11.4　墙架的连接节点

11.4.1　墙架柱与托架连接

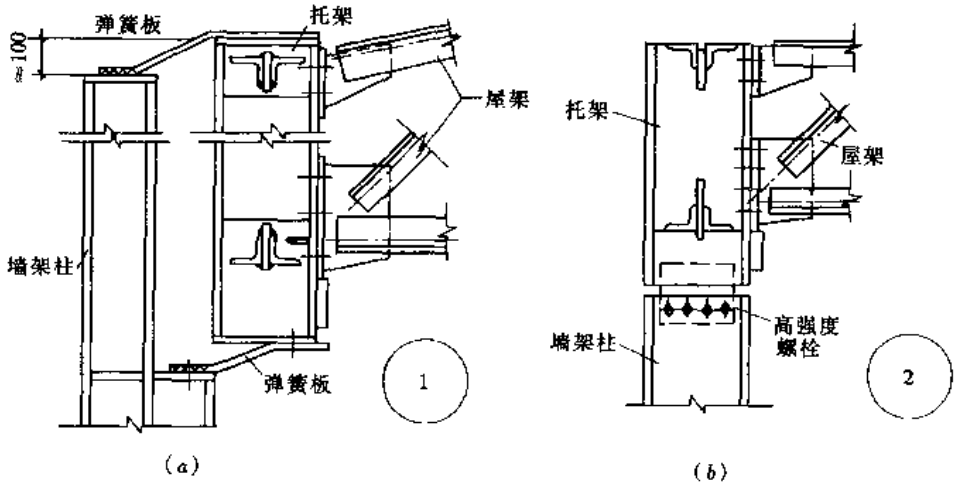


图 11-15　墙架与托架的连接

(a) 上下均为水平连接；(b) 上部悬吊于托架下部水平连接

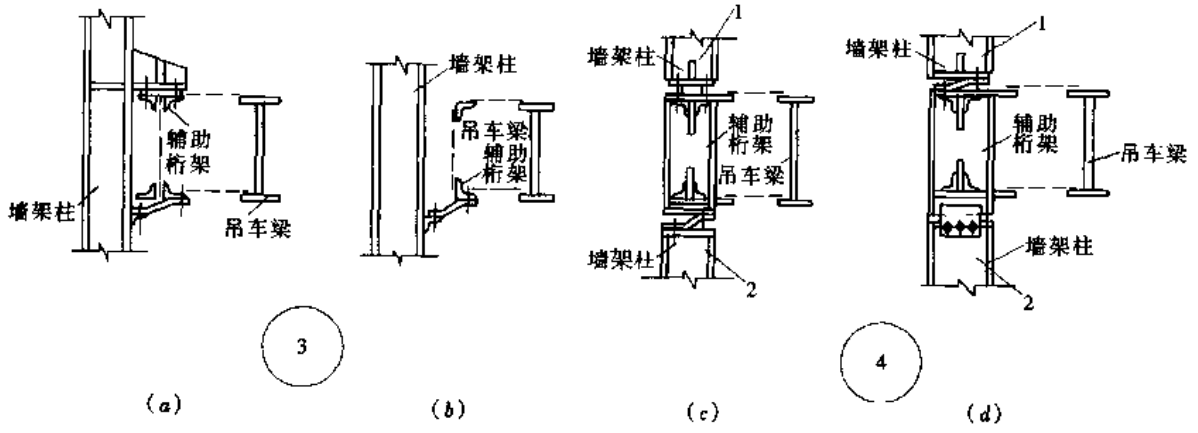


图 11-16　墙架柱与吊车梁辅助桁架的连接

(a) 墙架柱上侧水平和垂直连接，下侧水平连接；(b) 墙架柱仅下侧水平连接；

(c) 墙架柱1支承于辅助桁架；墙架柱2的柱顶与辅助桁架水平连接；

(d) 与图 (c) 相反，墙架柱1底部水平连接，墙架柱2顶部悬挂于辅助桁架

11.4.2 墙架柱与吊车梁轴的桁架连接

11.4.3 墙架柱与大型墙板的连接

分刚性和柔性连接。图 11-17 为刚性连接。图 11-18 为柔性连接。

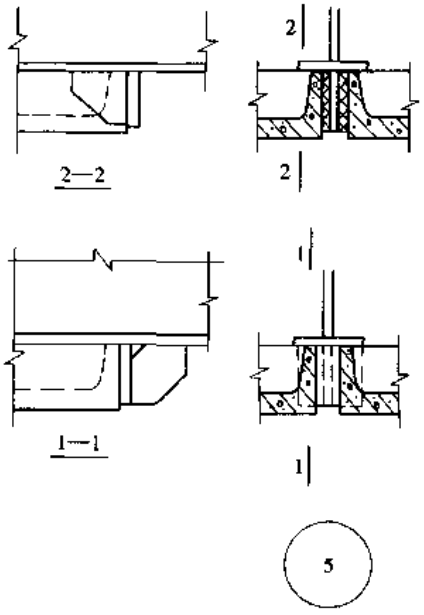


图 11-17 大型墙板的承重支托

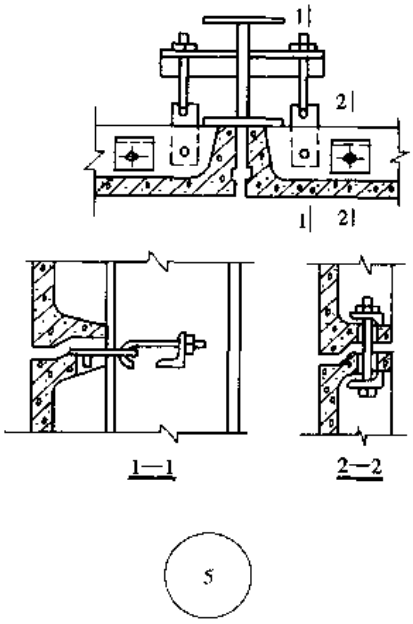


图 11-18 大型墙板的柔性连接

1. 刚性连接

厂房下部窗台以下的大型钢筋混凝土墙板通常为自承重，其他墙板宜每隔 4～5 块墙板在墙架柱（或厂房柱）上设置支托（图 11-17），以支承墙板重量。

2. 柔性连接

大型墙板的自承重部分以及承重支托之间的墙板（图 11-18）与柱的连接宜采用柔性连接。

11.4.4 墙架柱与砌体墙与砌体墙中抗风横梁的连接

分别见图 11-19 和图 11-20。

1. 砌体自承重墙与抗风柱或厂房框架柱的连接，应能使墙体在水平方向与柱共同变形，但在竖直方向应保证墙有自由沉降的可能性。因此，宜采用柔性连接（图 11-19）。连接件沿柱高度的距离为 1200～1500mm。

2. 砌体自承重墙内的抗风横梁（此横梁不承受墙体自重）与柱的连接宜采用柔性连接，以保证墙体的自由沉降，如图 11-20 所示。

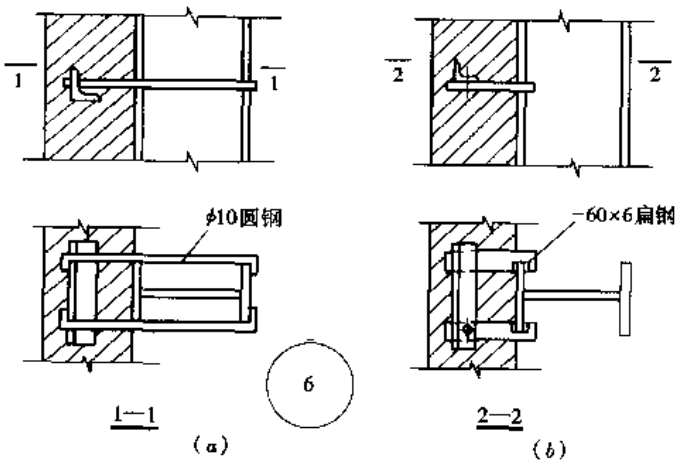


图 11-19 砌体自承重墙与抗风柱的连接

(a) 用圆钢连接；(b) 用扁钢连接

11.4.5 墙架柱与横梁的连接

见图 11-21。

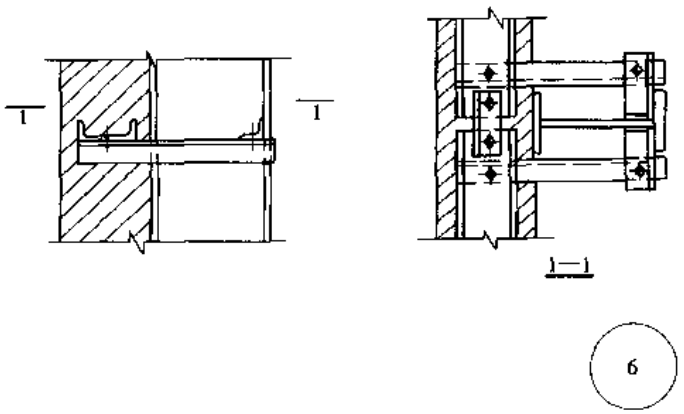


图 11-20　砌体墙中的抗风横梁与柱连接

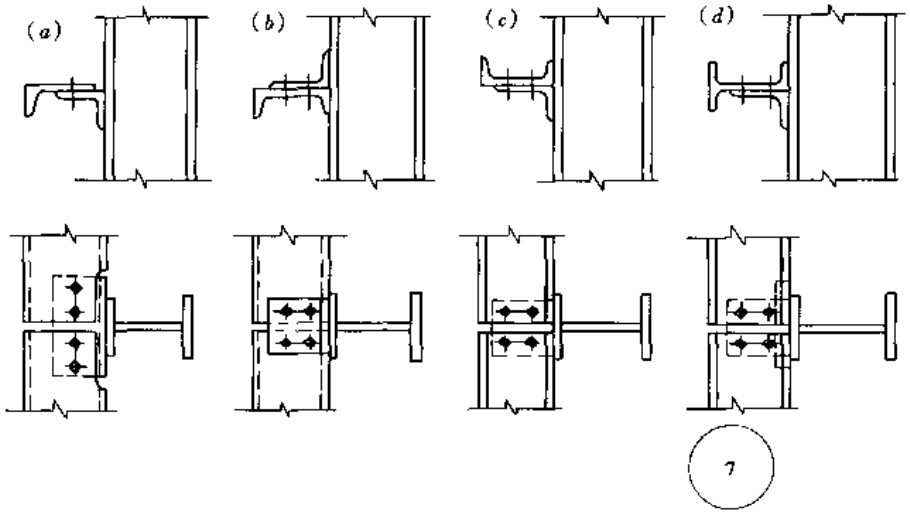


图 11-21　横梁与柱的连接（横梁可采用冷弯薄壁卷边 C 形钢和 Z 形钢）

1. 轻型墙的横梁一般与焊于柱上的角钢支托（图 11-21）连接。槽口向下的槽钢横梁如支托朝下，宜在支承处将内翼缘切去以便安装（图 11-21*a*）；图 11-21*b* 的连接方法虽可免去切肢的工序，但安装不便。

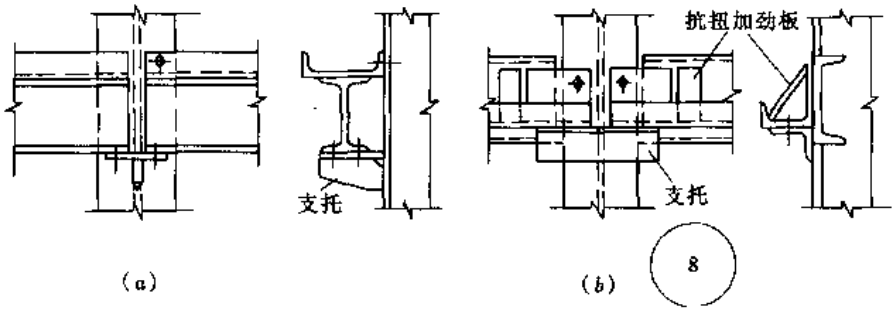


图 11-22　加强横梁与柱的连接

(*a*) 工字钢和槽钢组合的加强横梁；(*b*) 双槽钢组合的加强横梁

2. 图 11-22 为加强横梁与柱的连接构造。当横梁截面无任何对称轴时（图 11-22*b*），

应在支座附近和沿梁长度每隔 1000mm 左右设置厚度为 6mm 的抗扭加劲板。

11.4.6 横梁与角隅撑连接

见图 11-23。

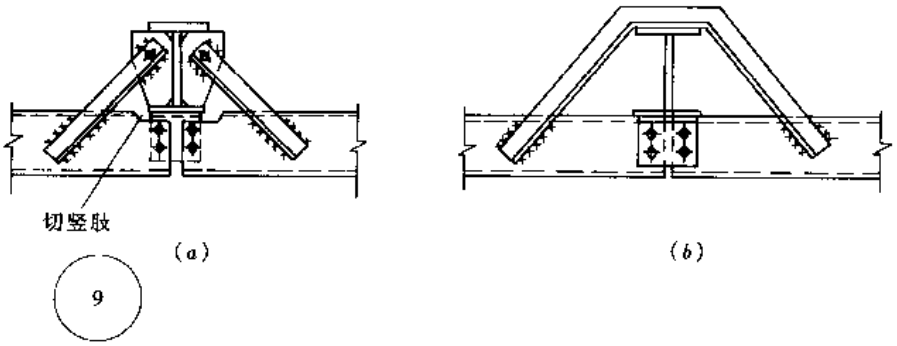


图 11-23 横梁的角隅撑
(a) 支托朝下，横梁槽口向下；(b) 支托朝上，横梁槽口向下

当墙架柱需要横梁作为其内、外翼缘的支承时，应加角**隅撑**（图 11-23）。

11.4.7 斜拉条与墙架柱连接

见图 11-24。

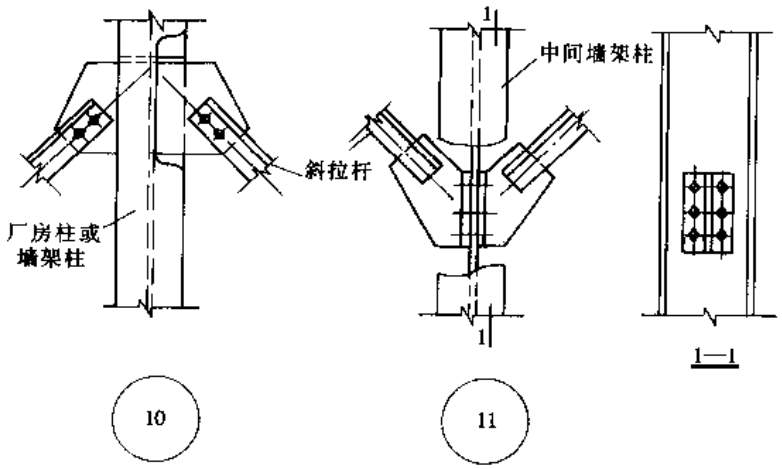


图 11-24 斜拉杆与柱的连接

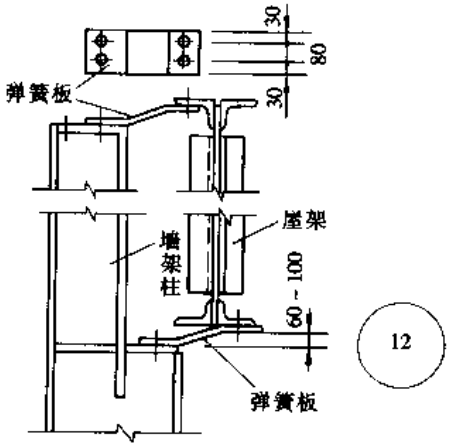


图 11-25 山墙墙架柱与屋架的连接

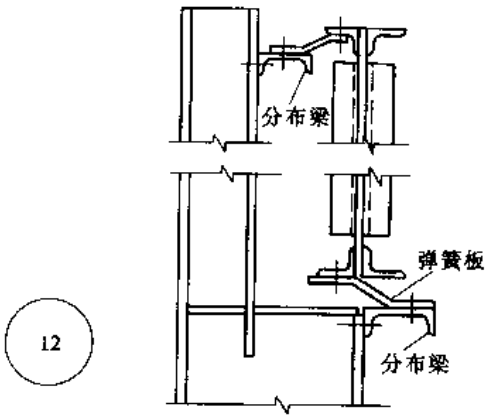


图 11-26 有分布梁的山墙墙架柱与屋架的连接

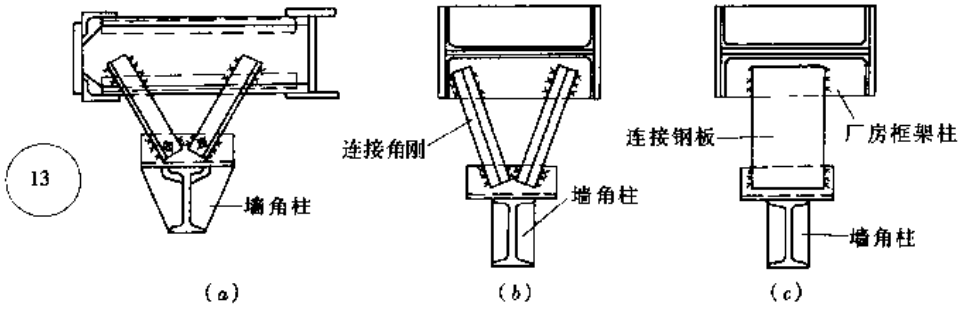


图 11-27　墙角柱与厂房柱的连接

11.4.8　山墙墙架柱连接

1. 山墙墙架柱与屋架连接

见图 11-25，11-26。

2. 山墙墙角柱连接

见图 11-27。

山墙的墙角柱宜与厂房框架相连接以减小墙角柱的截面和增加山墙的刚度。图 11-27（a）、（b）为墙角柱用斜撑杆连于厂房框架柱的横隔上。图 11-27（c）用钢板连于厂房框架柱的加劲板上。

3. 山墙抗风桁架与墙架柱连接

见图 11-28。

抗风桁架与墙架柱的连接处应设置斜撑架（图 11-28），以支承抗风桁架的内弦杆，也便于安装。

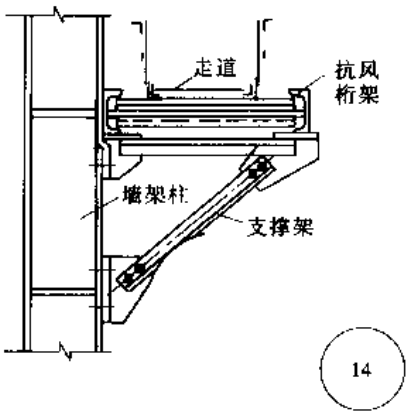


图 11-28　抗风桁架与山墙墙架柱的连接

4. 图 11-29 为抗风桁架端部与吊车梁的连接构造。

5. 当墙架柱支承于洞口上的竖直和水平桁架时，其连接构造可如图 11-30 所示。

6. 山墙柱间支撑与墙架的连接构造见图 11-31。

7. 墙架柱的雨篷和支撑

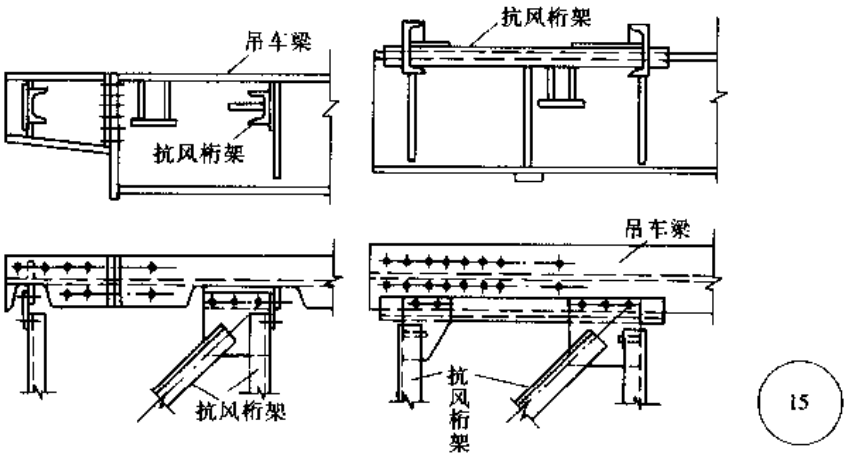


图 11-29　抗风桁架与吊车梁的连接

（a）抗风桁架低于吊车梁顶面时；（b）抗风桁架高于吊车梁顶面时

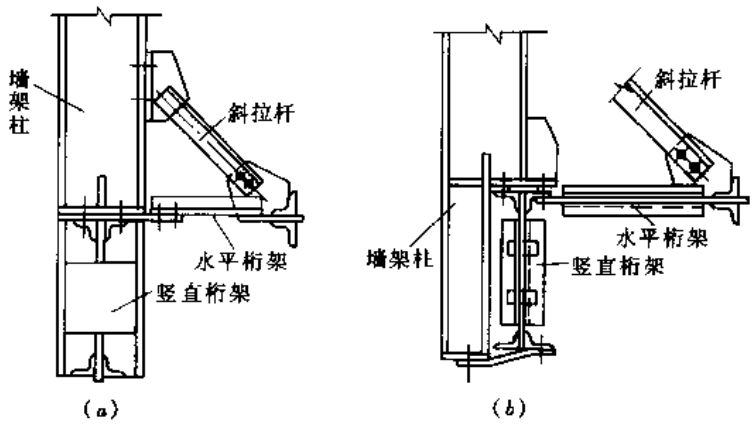


图 11-30 墙架柱支承于竖直和水平桁架的连接构造
(a) 墙架柱直接支承于竖直桁架顶；(b) 墙架柱通至竖直桁架底部

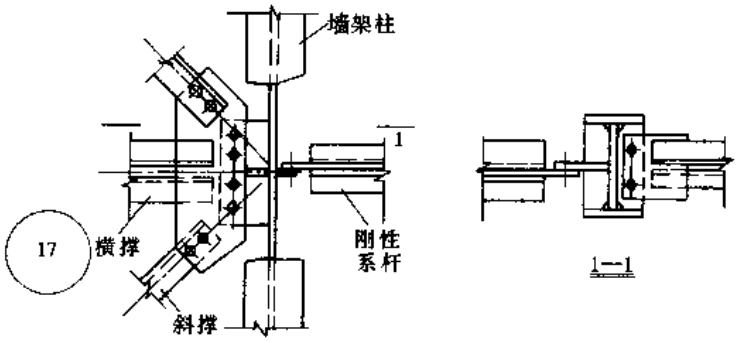


图 11-31 山墙柱间支撑与墙架柱的连接

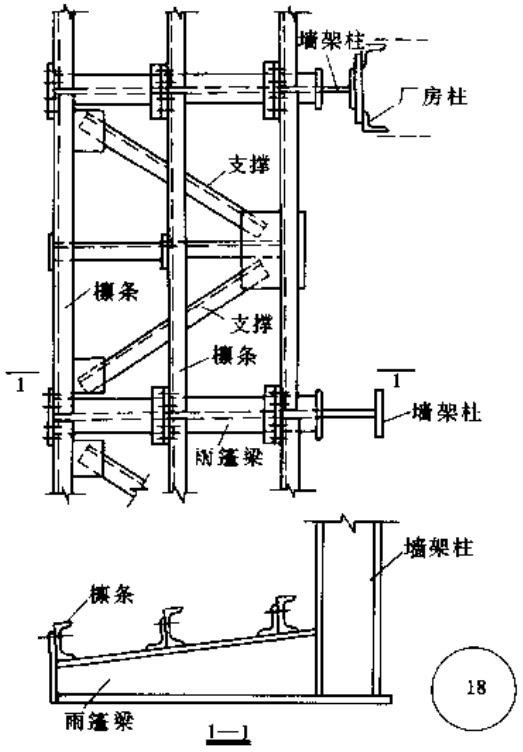


图 11-32 悬吊墙架柱下端的雨篷和支撑

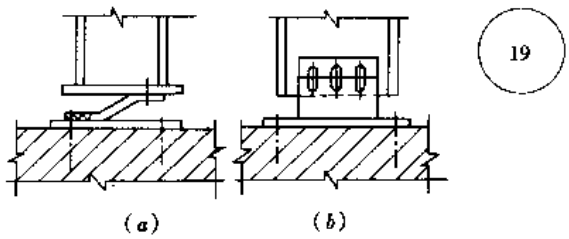


图 11-33 悬吊式墙架柱与基础的连接
(a) 柱底板竖向可位移；
(b) 柱胶板竖向可位移

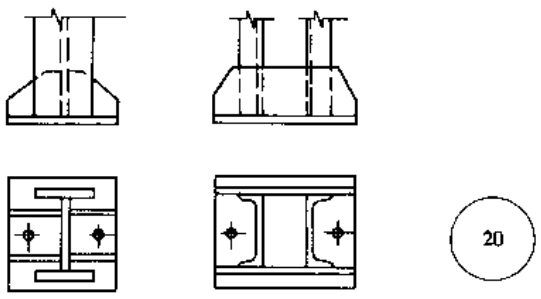


图 11-34 支承式墙架柱与基础的铰接

见图 11-32。

8. 墙架柱柱脚

分悬吊式和支承式见图 11-33 和图 11-34。

11.5　墙架构件的计算示例

【例题 11-1】　山墙墙架柱

1. 设计资料

支承式墙架柱，间距为 6m，总长度为 36.9m，与基础铰接，水平方向支承于屋架上、下平面支撑和两层抗风桁架（图 11-35*a*）。山墙墙体为 160mm 厚空心钢筋混凝土板（平均厚度为 110mm），墙板或钢窗在图 11-35（*a*）。左侧所示标高处有承重支托。基本风压值 w_0 为 0.45kN/m^2，地面粗糙度类别 B。钢材采用 Q235 号钢，焊条采用 E43 型。

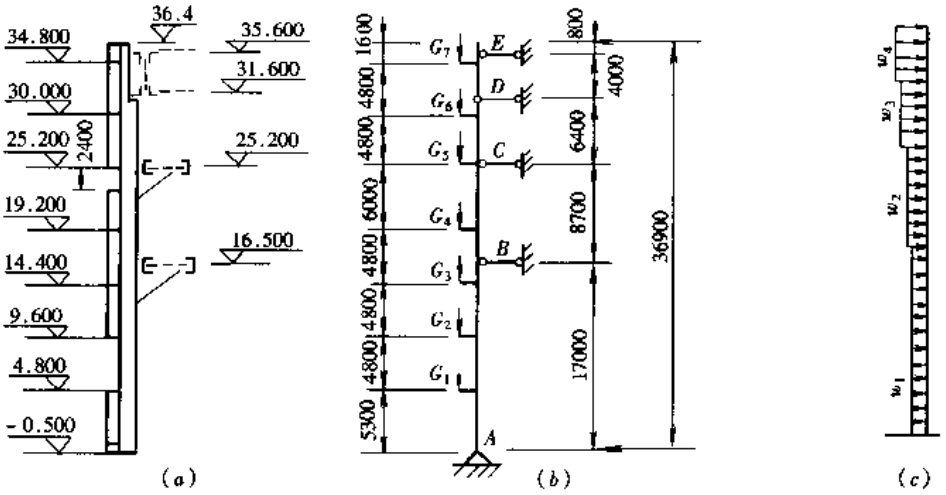


图 11-35　山墙墙架柱

2. 荷载计算

(1) 永久荷载

墙板及钢窗自重的面荷载（钢筋混凝土重 25kN/m^3）：

墙板　$g = 1.2 \times 0.11 \times 25 = 3.30\text{kN/m}^2$

钢窗　$g' = 1.2 \times 0.45 = 0.54\text{kN/m}^2$

各承重支托处的集中荷载（在窗口范围，墙架柱一侧为墙板，另一侧为钢窗）：

$$G_1 = 3.30 \times 4.8 \times 3 + 0.54 \times 4.8 \times 3 = 55.3\text{kN}$$

$$G_2 = G_3 = G_5 = G_6 = 3.30 \times 4.8 \times 6 = 95.0\text{kN}$$

$$G_4 = 3.3 \times 3.6 \times 6 + 3.3 \times 2.4 \times 3 + 0.54 \times 2.4 \times 3 = 98.9\text{kN}$$

$$G_7 = 3.3 \times 1.6 \times 6 = 31.7\text{kN}$$

假设标高 31.6m 以下的柱截面高度为 0.5m，则荷载偏心距 $e = 0.08 + 0.25 = 0.33\text{m}$；顶部截面高度为 0.25m，则荷载偏心距 $e' = 0.08 + 0.125 = 0.205\text{m}$。作用于墙架柱的偏心力矩为：

$$M_1 = 55.3 \times 0.33 = 18.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = M_3 = M_5 = M_6 = 95.0 \times 0.33 = 31.4\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_4 = 98.9 \times 0.33 = 32.6\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_7 = 31.7 \times 0.205 = 6.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

另外：变截面处的弯矩为：

$$M_D = 31.7 \times 0.125 = 4.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

(2) 风荷载

对封闭式房屋，端墙风压力的体型系数为 +0.9，风吸力的体形系数 μ_s 为 −0.2。因墙架柱不属于围护结构，也不属于高柔房屋，但以承受风荷载为主的个别构件，故不应考虑阵风系数 β_{gz}，也不应考虑风振系数 β_z。偏安全地取 $\mu_s = \pm 1.0$，风压的高度变化系数 $\mu_B = 1.17$（标高 16.5m 处），$\mu_c = 1.34$（标高 25.2m 处），$\mu_D = 1.44$（标高 31.6m 处），$\mu_E = 1.51$（标高 36.4m 处）。

风压力的线荷载（图 11-35*c*）为：

$$w_1 = 1.4 \times 1.17 \times 1 \times 0.45 \times 6 = 4.42\text{kN/m}$$

$$w_2 = 1.4 \times 1.34 \times 1 \times 0.45 \times 6 = 5.07\text{kN/m}$$

$$w_3 = 1.4 \times 1.44 \times 1 \times 0.45 \times 6 = 5.44\text{kN/m}$$

$$w_4 = 1.4 \times 1.51 \times 1 \times 0.45 \times 6 = 5.71\text{kN/m}$$

3. 内力计算

为简化计算，在柱变截面处（*D* 点）假设为铰接（图 11-35*b*）。墙架柱的顶段（*DE* 段）为静定梁式构件；*AD* 段为连续构件。

(1) *AD* 柱在墙面永久荷载的偏心力矩作用下，各段的固端弯矩可按表 21-1 和表 21-2 的公式算得：

$$M_{BA}^{f} = \frac{17.0^2 - 3 \times 5.3^2}{2 \times 17.0^2}(-18.2) + \frac{17.0^2 - 3 \times 10.1^2}{2 \times 17.0^2}(-31.4) + \frac{17.0^2 - 3 \times 14.9^2}{2 \times 17.0^2}(-31.4) = 15.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{BC}^{f} = \frac{6.0}{8.7^2}(3 \times 2.7 - 8.7)(-32.6) = 1.6\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{CB}^{f} = \frac{2.7}{8.7^2}(3 \times 6.0 - 8.7)(-32.6) = -10.8\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{CD}^{f} = \frac{6.4^2 - 3 \times 1.6^2}{2 \times 6.4^2}(-31.4) + \frac{1}{2}(-4) = -14.8\text{kN}\cdot\text{m}$$

各段的弯矩分配系数为：

$$\mu_{BA} = \frac{\frac{3}{17.0}}{\frac{3}{17.0} + \frac{4}{8.7}} = 0.277$$

$$\mu_{BC} = \frac{\frac{4}{8.7}}{\frac{3}{17.0} + \frac{4}{8.7}} = 0.723$$

$$\mu_{CB}=\frac{\frac{4}{8.7}}{\frac{4}{8.7}+\frac{3}{6.4}}=0.495$$

$$\mu_{CD}=\frac{\frac{3}{6.4}}{\frac{4}{8.7}+\frac{3}{6.4}}=0.505$$

用弯矩分配法计算各段的端部弯矩，然后求得支座反力和弯矩图形（图 11-36）。

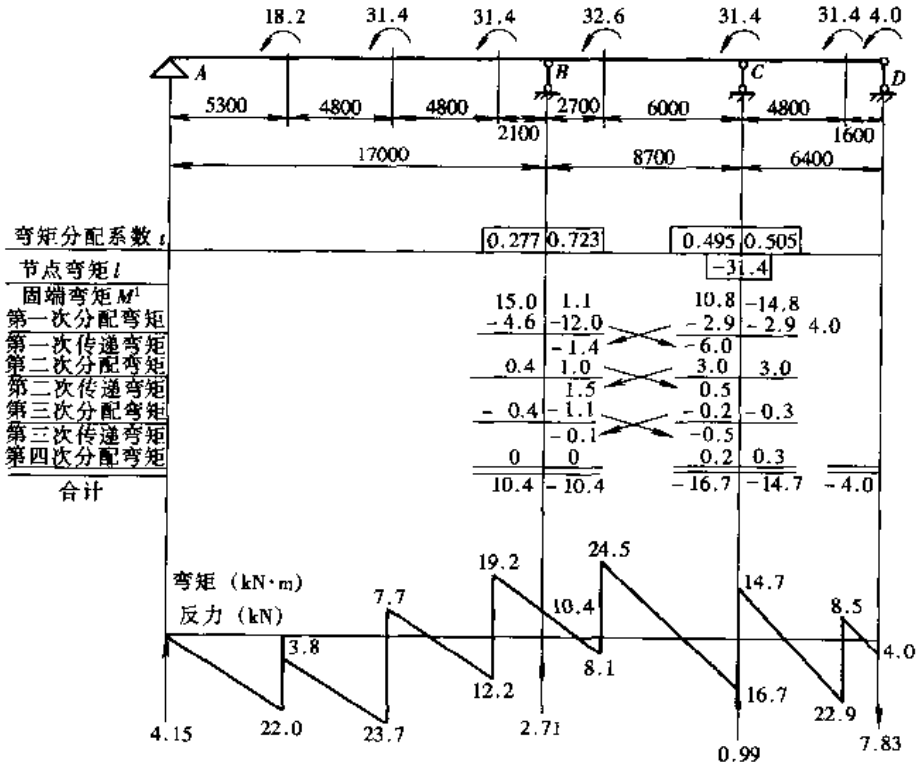


图 11-36　墙架柱在永久荷载偏心力矩作用的内力计算图

（2）*AD* 柱在风荷载作用下，各段的固端弯矩可按表 21-1 和表 21-2 的公式算得：

$$M_{BA}^{f}=\frac{1}{8}\times 4.42\times 17.0^2=159.7\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{BC}^{f}=-\frac{1}{12}\times 5.07\times 8.7^2=-32.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{CB}^{f}=\frac{1}{12}\times 5.07\times 8.7^2=32.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{CD}^{f}=\frac{1}{8}\times 5.44\times 6.4^2=-27.9\text{kN}\cdot\text{m}$$

用弯矩分配法计算各段的端部弯矩，然后求得支座反力和弯矩图形（图 11-37）。

4. 截面选择

此墙架柱以 *AB* 段最为不利，此段的最大内力为（设柱自重为 0.8kN/m）：

$N_{max}=G_1+G_2+G_3+G_4+G_5+G_6+G_7+$柱自重

$$= 55.3 + 4 \times 95.0 + 98.9 + 31.7 + 0.8 \times 1.2 \times 36.9 = 601.3\text{kN}$$

$$M_1 = 22.0 + 99.2 = 121.2\text{kN·m}$$

$$M_2 = 23.7 + 81.9 = 105.6\text{kN·m}$$

$$M_B = -10.4 - 121.4 = -131.8\text{kN·m}$$

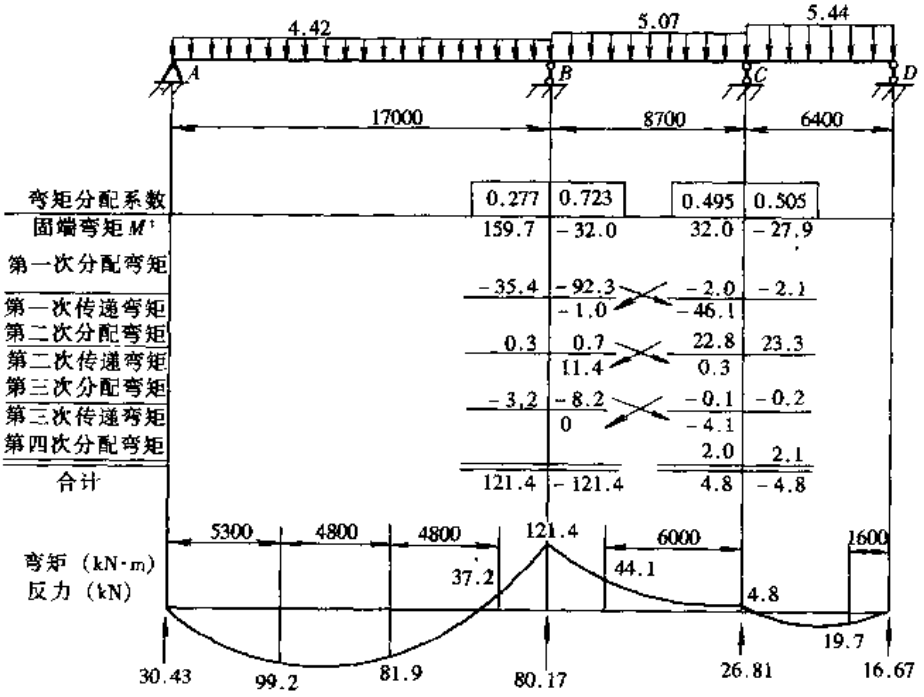


图 11-37 墙架柱在风荷载作用下的内力计算图

弯矩的符号：在构件的下侧为正，上侧为负。

设选用的墙架柱截面如图 11-38 所示（翼缘板的边缘为轧制或剪切边），其截面特性由表 17-6 查得：

$A = 98.1\text{cm}^2$，自重 0.76kN/m，$I_x = 42920\text{cm}^4$，$W_x = 1717\text{cm}^3$，$i_x = 20.92\text{cm}$，$I_y = 3127\text{cm}^4$，$W_y = 250.2\text{cm}^3$，$i_y = 5.65\text{cm}$

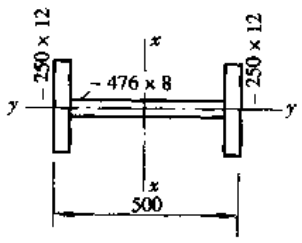


图 11-38

（1）弯矩作用平面内的稳定性计算

$l_{ox} = 1700\text{cm}$，$\lambda_x = 1700/20.92 = 81.3 < [\lambda] = 150$

$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 98.1 \times 10^2}{1.1 \times 81.3^2} = 2743 \times 10^2\text{N} = 2743\text{kN}$$

$$\beta_{mx} = 0.85$$

此截面属于 b 类截面，由表 14-4 查得 $\varphi_x = 0.679$，按公式（3-68）计算的稳定性为：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1 - 0.8\dfrac{N}{N_{Ex}}\right)} = \frac{601.3 \times 10^3}{0.679 \times 98.1 \times 10^2}$$

$$+ \frac{0.85 \times 131.8 \times 10^6}{1.05 \times 1717 \times 10^3\left(1 - 0.8 \times \dfrac{601.3}{2743}\right)}$$

$$= 165.6\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

（2）弯矩作用平面外的稳定性计算

设在各承重支托处，墙板与墙架柱有可靠的连接，可视为墙架柱弯矩作用平面外的支承。

$$l_{oy} = 480\text{cm},\ \lambda_y = \frac{480}{5.65} = 85 < 120\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 99$$

$$\beta_{tx} = 1.0\ （在\ l_{oy}区段内弯矩同号）$$

按公式（3-11）$\varphi_b = 1.07 - \dfrac{\lambda_y^2}{44000} = 1.07 - \dfrac{85^2}{44000} = 0.906$

此截面属于 c 类截面，由表 14-3 查得 $\varphi_y = 0.547$，按公式（3-70）计算的稳定性为：

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_{1x}} = \frac{601.3 \times 10^3}{0.547 \times 98.1 \times 10^2} + \frac{1.0 \times 131.8 \times 10^6}{0.906 \times 1717 \times 10^3} = 197\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

（3）腹板局部稳定性计算

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_x} \cdot \frac{h_w}{h} = \frac{601.3 \times 10^3}{98.1 \times 10^2} + \frac{131.8 \times 10^6}{1717 \times 10^3} \times \frac{476}{500}$$

$$= 61.3 + 73.1 = 134.4\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{min} = 61.3 - 73.1 = -11.8\text{N/mm}^2$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{134.4 + 11.8}{134.4} = 1.09$$

按公式（3-73a），$\dfrac{h_0}{t_w} = \dfrac{476}{8} = 59.5 < 16\alpha_0 + 0.5\lambda_x + 25$

$$= 16 \times 1.09 + 0.5 \times 81.3 + 25 = 83.1$$

满足局部稳定的要求。

（4）风荷载作用下的挠度计算

为简化计，可将 AB 段作为单跨简支梁计算。

风荷载的标准值为：

$$w_k = 4.42/1.4 = 3.16\text{kN/m} = 3.16\text{N/mm}$$

$$v = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_k l^4}{EI_x} = \frac{5}{384} \times \frac{3.16 \times 17000^4}{206 \times 10^3 \times 42920 \times 10^4} = 38.9\text{mm} < \frac{l}{400} = 42.5\text{mm}$$

故挠度满足要求。

注：若挠度按上述计算法不满足要求时，宜作为连续梁再进行挠度计算，如果还不满足要求，则应修改墙架柱的截面。

【例 11-2】　抗风桁架

1. 设计资料

计算［例 11-1］中的下层抗风桁架（图 11-35 的标高 16.50m 处），桁架跨度为 32.5m，钢材采用 Q235 钢，焊条采用 E43 型。

采用的抗风桁架形式和几何尺寸如图 11-39 所示。

2. 内力计算

(1) 在支承墙架柱处，抗风桁架所受的节点荷载（设计值），即墙架柱的支座反力（图 11-36、图 11-37）为：

在风压力作用下，

$$F = 2.71 + 80.17 = 82.88\text{kN}$$

在风吸力作用下

$$F = 2.71 - 80.17 = -77.5\text{kN} \quad \text{统一取 } 82.88\text{kN}$$

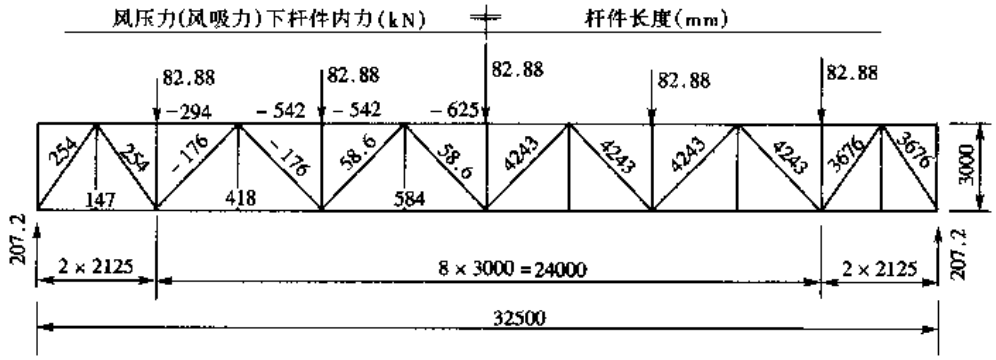


图 11-39 抗风桁架的形式、尺寸和内力

(2) 采用数解法可较方便地求出各杆件在风压力（风吸力）作用下的内力，图 11-39 左侧数字为风力作用下的杆件内力（kN）。

(3) 各横腹杆在走道荷载作用下的弯矩（图 11-40）：

走道板等自重设为 1.0kN/m^2，活荷载为 2.0kN/m^2（标准值）。

走道传给抗风桁架横腹杆的集中荷载设计值为：

$$Q = (1.2\times1.0 + 1.4\times2.0)\ 1.5\times3\times\frac{1}{2} = 9.0\text{kN}$$

$$R_1 = \frac{1}{3}(9\times1.0 + 9\times2.5) = 10.5\text{kN},\quad R_2 = 2\times9 - 10.5 = 7.5\text{kN}$$

$$M_{max} = 7.5\times1.0 = 7.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

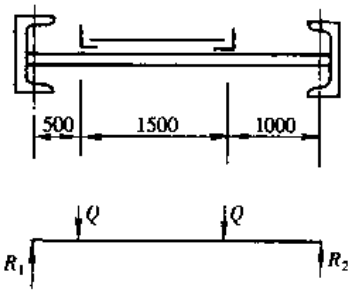


图 11-40 走道板对横腹杆的弯矩

(4) 弦杆在走道荷载和抗风桁架自重作用下的弯矩：

墙架柱及斜撑为抗风桁架弦杆的竖向支点，即跨度为 6m，即弦杆竖向支点间的中央受有走道板传来的集中力为 10.5kN（外弦杆）或 7.5kN（内弦杆）。

因弦杆为连续构件，弯矩的取值可按屋架上弦杆受节间荷载时的取值方法确定（参见第 7.2.3 节）。

外弦杆的弯矩为：

$$M_1 = \pm0.6\times\frac{1}{4}\times10.5\times6 = \pm9.45\text{kN}\cdot\text{m}$$

内弦杆的弯矩为：

$$M_1' = \pm0.6\times\frac{1}{4}\times7.5\times6 = \pm6.75\text{kN}\cdot\text{m}$$

假设桁架自重为 0.75kN/m（标准值），对外弦杆或内弦杆的弯矩为：

$$M_2 = \pm 0.6 \times \frac{1}{8} gl^2 = \pm 0.6 \times \frac{1}{8} (1.2 \times 0.75) 6^2$$
$$= \pm 2.43\text{kN·m}$$

上述弯矩正负号：在竖向支点处为负，在跨中为正。跨中正弯矩不包括弦杆端节间。由于走道荷载对弦杆端节间不产生弯矩，而端节间的轴心力较小，故未予计算。

3. 截面选择

(1) 弦杆

外弦杆内力为：

$$N_{max} = \begin{cases} -625\text{kN} \\ +625\text{kN} \end{cases} \quad M_{max} = 9.45 + 2.43 = 11.88\text{kN·m}$$

内弦杆内力为：

$$N_{max} = \begin{cases} -584\text{kN} \\ 584\text{kN} \end{cases} \quad M_{max} = 6.75 + 2.43 = 9.18\text{kN·m}$$

为施工方便，一般内、外弦杆均取相同截面，故截面选择按外弦杆进行，即计算内力取：

$$N = -625\text{kN}, \quad M = 11.88\text{kN·m}$$

$l_{oy} = 300\text{cm}$（桁架平面内），$l_{ox} = 600\left(0.75 + 0.25 \times \frac{542}{625}\right) = 580\text{cm}$（桁架平面外）。

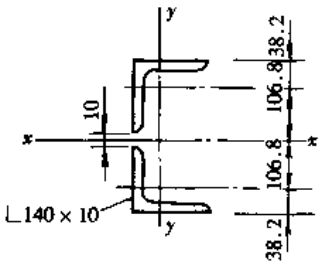


图 11-41　弦杆截面

通常弦杆采用槽钢截面，但本例题选用较为经济的双角钢槽形截面（能使平面内外的稳定性大致相等）。节点板厚度取为10mm（支座节点板厚度 12mm）。

采用图 11-41 所示的 2L140 × 10 的截面，角钢之间的空隙为10mm 用以放置节点板。由于空隙小，在节间内设置较密的填板（间距采用 750mm，单肢长细比约为 17），且弯矩的影响不大，因此可按实腹截面进行计算。其截面特性为：

$$A = 54.74\text{cm}^2, \quad i_y = 4.34\text{cm}$$

$$I_x = 2\ (514.7 + 27.37 \times 10.68^2) = 7273\text{cm}^4, \quad W_x = 7273/14.5 = 501.6\text{cm}^3$$

$$i_x = \sqrt{7273/54.74} = 11.5\text{cm}$$

1) 弯矩作用平面内的稳定性计算

$$\lambda_x = \frac{580}{11.5} = 50.4$$

$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_x} = \frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 54.74 \times 10^3}{1.1 \times 50.4^2} = 3943 \times 10^3\text{N}$$

$$\beta_{mx} = 0.85$$

此截面属于 c 类截面，由表 14-4 查得 $\varphi_x = 0.772$，按公式（3-68）计算的稳定性为：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1 - 0.8\frac{N}{N_{Ex}}\right)} = \frac{625 \times 10^3}{0.772 \times 54.74 \times 10^3}$$

$$+ \frac{0.85 \times 11.88 \times 10^6}{1.05 \times 501.6 \times 10^3\left(1 - 0.8 \times \frac{625}{3943}\right)} = 169.8\text{N/mm}^2$$

$$< f = 215\text{N/mm}^2$$

2）弯矩作用平面外的稳定性计算

$$\lambda_y = \frac{300}{4.34} = 69.1 < [\lambda] = 150$$

按公式（3-9）$\varphi_b = \dfrac{570bt}{l_1 h} = \dfrac{570 \times 14 \times 1}{300 \times 29} = 0.917 > 0.6$

按公式（3-10）$\varphi'_b = 1.07 - \dfrac{0.282}{\varphi_b} = 0.762$

$$\beta_{tx} = 0.85$$

此截面属于 b 类截面，由表 14-3 查得 $\varphi_y = 0.756$，按公式（3-70）计算的稳定性为：

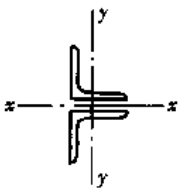


图 11-42 横腹杆截面

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi'_b W_{1x}} = \frac{625 \times 10^3}{0.756 \times 54.74 \times 10^2}$$

$$+ \frac{0.85 \times 11.88 \times 10^6}{0.762 \times 501.6 \times 10^3} = 177.4\text{N/mm}^2$$

$$< f = 215\text{N/mm}^2$$

（2）横腹杆

$$N = -82.88\text{kN},\quad M_{max} = 7.5\text{kN·m}$$

选用 2L90×7，$A = 24.6\text{cm}^2$，$i_y = 2.78\text{cm}$

$$i_x = 4.07\text{cm},\quad W_x = 42.91\text{cm}^3$$

1）弯矩作用平面内的稳定性计算

$$l_{ox} = 300\text{cm},\quad \lambda_x = \frac{300}{4.07} = 73.7 < [\lambda] = 150$$

$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 24.6 \times 10^2}{1.1 \times 73.7^2}$$

$$= 837 \times 10^3\text{N}$$

$$\beta_{mx} = 1.0,\quad \gamma_x = 1.2$$

此截面属于 b 类截面，由表 14-3 查得 $\varphi_x = 0.728$，按公式（3-68）计算的稳定性为：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x}\left(1 - 0.8\dfrac{N}{N'_{Ex}}\right)} = \frac{82.88 \times 10^3}{0.728 \times 24.6 \times 10^2}$$

$$+ \frac{1.0 \times 7.5 \times 10^6}{1.2 \times 42.91 \times 10^3\left(1 - 0.8 \times \dfrac{82.88}{837}\right)}$$

$$= 204.3\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

2）弯矩作用平面外的稳定性计算

走道板的两侧处可视为弯矩作用平面外的支承点，故 $l_{oy} = 150\text{cm}$

$$\lambda_y = \frac{150}{2.78} = 54 < 120$$

取 $\beta_{tx}=1.0$，近似按公式（3-11）

$$\varphi_b=1.07-\frac{\lambda_y^2}{44000}\frac{235}{235}\doteq 1$$

此截面属于 b 类截面，由表 14-3 查得 $\varphi_y=0.838$，按公式（3-70）计算的稳定性为：

$$\frac{N}{\varphi_y A}+\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_b W_{1x}}=\frac{82.88\times10^3}{0.838\times24.6\times10^2}$$

$$+\frac{1.0\times7.5\times10^6}{1.0\times42.91\times10^3}=215.0\text{N/mm}^2$$

$$=f=215\text{N/mm}^2$$

其他横腹杆仍用以上相同截面。

（3）斜杆

所有斜杆均为轴心受力杆件，各杆既受拉又受压，故一律取［λ］=150。这里计算从略。

4. 挠度计算

因抗风桁架作为连续墙架柱的支承，故应计算其挠度。桁架的惯性矩为：

$$I_0=2\times54.74\times150^2=2463000\text{cm}^4=24.63\times10^9\text{mm}^4$$

水平荷载作用下的最大弯矩标准值为：

$$M_k=\frac{1}{1.4}(207.2\times16.25-82.88\times12-82.88\times6)=1339\text{kN}\cdot\text{m}$$

计算的相对水平挠度为：

$$\frac{v}{l}=\frac{M_k l}{9EI}=\frac{1339\times10^6+32500}{9\times206\times10^3\times24.63\times10^9}=\frac{1}{1049}<\frac{1}{1000}$$

注：如果抗风桁架的挠度计算不满足要求，可采用下列办法之一处理：1）将桁架弦杆的截面加大或修改桁架的尺寸；2）不修改桁架的截面和尺寸，但将墙架柱作为单跨简支构件计算。

【例题 11-3】　纵墙横梁计算（C 型钢）

1. 设计资料

某单层厂房，柱距 6m 纵墙高 10m，采用夹芯板自承重墙，基本风压 $w_0=0.5\text{kN/m}^2$，地面粗糙度类别 B，墙梁间距 1.5m，跨中设一根拉条，钢材为 Q235。

2. 荷载计算

（1）墙梁采用 C 型钢 160×60×20×2.5，自重 g=7kg/m

（2）墙重 0.20kN/m²

（3）风荷载

本例高度 10m<18m，属于低矮房屋，风荷载标准值可按 CECS102:2002 中的围护结构计算

$$w_k=\mu_s\mu_z w_0,\quad \mu_s=\begin{matrix}-1.1\\+1.0\end{matrix},\quad w_0=1.05w_0=1.05\times0.5=0.525\text{kN/m}^2$$

$q_x=1.2\times0.07=0.084\text{kN/m}^2$（落地墙不计墙重，因墙梁先装不计拉条作用）

$$q_x = -1.1 \times 0.525 \times 1.5 \times 1.4 = 1.21\text{kN/m}$$

3. 内力计算

$$M_x = \frac{1}{8} \times 0.084 \times 6^2 = 0.378\text{kN·m}$$

$$M_y = \frac{1}{8} \times 1.21 \times 6^2 = 5.49\text{kN·m}$$

4. 强度计算

C160×70×20×3，平放，开口朝上

$$W_{xmax} = 27.17\text{cm}^3,\quad W_{xmin} = 12.65\text{cm}^3,\quad W_y = 46.71\text{cm}^3$$

$I_x = 373.63\text{cm}^4$

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{enx}} + \frac{M_y}{W_{eny}} = \frac{0.378 \times 10^6}{0.9 \times 12.65 \times 10^3} + \frac{5.49 \times 10^6}{0.9 \times 46.71 \times 10^3} = 33 + 131 = 164 < 205\text{N/mm}^2$$

式中 0.9 为参照例题 7-2 取用的有效截面模量系数。在风吸力下拉条位置应设在墙梁内侧，并在柱底设斜拉条（图 11-5*c*）。此时夹芯板与墙梁外侧牢固相连，可不验算墙梁的整体稳定性。

5. 挠度计算

$$v = \frac{5}{384}\frac{q_y l^4}{EI_y} = \frac{5 \times 1.1 \times 0.525 \times 1.5 \times 6^4 \times 10^{12}}{384 \times 2.05 \times 10^3 \times 373.64 \times 10^4} = 19\text{mm} < \frac{l_0}{200} = 30\text{mm}$$

【例题 11-4】 纵墙横梁（轻型 H 型钢）

1. 设计资料同［例题 11-3］，柱距 9m，$g = 0.12\text{kN/m}$

2. 风荷载

$$w_k = \mu_s \mu_z w_0$$

$$q_x = 1.2 \times 1.2 = 0.144\text{kN/m}$$

$$q_y = 1.21\text{kN/m}$$

3. 内力计算

$$M_x = \frac{1}{8} \times 0.144 \times 9^2 = 1.46\text{kN·m}$$

$$M_y = \frac{1}{8} \times 1.21 \times 9^2 = 12.3\text{kN·m}$$

4. 强度计算

H200×100×3.2×4.5 平放

$$W_x = 60.03\text{cm}^3,\quad W_y = 104.59\text{cm}^3,\quad I_y = 1045.92\text{cm}^4$$

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{enx}} + \frac{M_y}{W_{eny}} = \frac{1.46 \times 10^6}{60.03 \times 10^3} + \frac{12.3 \times 10^6}{0.95 \times 104.59 \times 10^3} = 24.3 + 123$$

$$= 147.3\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$$

因拉条在腹板上开孔，仅对 W_y 乘以孔洞削弱系数 0.95。

5. 挠度计算

$$v=\frac{5q_y l^4}{384EI_y}=\frac{5\times1.1\times0.525\times1.5\times9^4\times10^2}{384\times2.05\times10^5\times1045.92\times10^4}=34.5\text{mm}<\frac{l_0}{200}=45\text{mm}$$

11.6 墙架构件选用

见表11-1、表11-2及图11-43、图11-44。

墙梁构件选用表　　表11-1

风荷载等级（标准值 w_k）	截面形式	构件编号	跨度（m）	梁距（m）	截面规格	用钢量（kg/m²）	应力比 σ/f	备注
1（0.5kN/m²）	C型	CQL4.5-1.2-1	4.5	1.2	C100×50×15×2.5	3.43	0.806	跨中设一道拉条
		CQL4.5-1.5-1		1.5	C140×50×20×2.0	2.76	0.746	
		CQL4.5-1.8-1		1.8	C140×50×20×2.0	2.30	0.890	
		CQL4.5-2.1-1		2.1	C140×50×20×2.2	2.16	0.954	
		CQL4.5-2.4-1		2.4	C160×60×20×2.0	1.99	0.880	
		CQL4.5-2.7-1		2.7	C160×60×20×2.0	1.77	0.987	
		CQL4.5-3.0-1		3.0	C160×60×20×2.5	1.96	0.903	
		CQL6.0-1.2-1	6.0	1.2	C140×50×20×2.2	3.77	0.990	跨中设一道拉条
		CQL6.0-1.5-1		1.5	C160×60×20×2.0	3.18	0.993	
		CQL6.0-1.8-1		1.8	C180×70×20×2.0	3.00	0.920	
		CQL6.0-2.1-1		2.1	C180×70×20×2.2	2.81	0.983	
		CQL6.0-2.4-1		2.4	C200×70×20×2.2	2.61	0.977	
		CQL6.0-2.7-1		2.7	C200×75×20×2.5	2.61	0.980	
		CQL6.0-3.0-1		3.0	C220×75×20×2.5	2.55	0.917	
		CQL7.5-1.2-1	7.5	1.2	C180×70×20×2.0	4.50	0.977	跨中设一道拉条
		CQL7.5-1.5-1		1.5	C200×70×20×2.2	4.17	0.976	
		CQL7.5-1.8-1		1.8	C220×75×20×2.2	3.76	0.984	
	H型	HQL6.0-1.8-1	6.0	1.8	H120×75×3.2×4.5	4.91	0.698	跨中设一道拉条
		HQL6.0-2.4-1		2.4	H120×75×3.2×4.5	3.68	0.858	
		HQL6.0-3.0-1		3.0	H150×100×3.2×4.5	3.54	0.774	
		HQL7.5-1.5-1	7.5	1.5	H120×75×3.2×4.5	5.89	0.966	
		HQL7.5-1.8-1		1.8	H150×100×3.2×4.5	5.89	0.818	
		HQL7.5-2.4-1		2.4	H200×100×3.2×4.5	4.94	0.809	
		HQL7.5-3.0-1		3.0	H200×100×3.2×4.5	3.95	0.946	
		HQL9.0-1.5-1	9.0	1.5	H200×100×3.2×4.5	7.91	0.867	跨中设一道拉条
		HQL9.0-1.8-1		1.8	H200×100×3.2×4.5	6.59	0.966	
		HQL9.0-2.4-1		2.4	H200×150×3.2×4.5	6.42	0.776	
		HQL9.0-3.0-1		3.0	H200×150×3.2×4.5	5.13	0.917	

续表

风荷载等级（标准值 w_k）	截面形式	构件编号	跨度（m）	梁距（m）	截面规格	用钢量（kg/m²）	应力比 σ/f	备注
2（0.7kN/m²）	C型	CQL4.5-1.2-2	4.5	1.2	C140×50×20×2.0	3.45	0.833	跨中设一道拉条
		CQL4.5-1.5-2		1.5	C140×50×20×2.2	3.02	0.954	
		CQL4.5-1.8-2		1.8	C160×60×20×2.0	2.65	0.923	
		CQL4.5-2.1-2		2.1	C160×60×20×2.2	2.49	0.987	
		CQL4.5-2.4-2		2.4	C180×70×20×2.0	2.25	0.949	
		CQL4.5-2.7-2		2.7	C180×70×20×2.2	2.19	0.979	
		CQL4.5-3.0-2		3.0	C200×70×20×2.2	2.09	0.946	
		CQL4.5-1.2-2	6.0	1.2	C160×60×20×2.5	4.90	0.917	跨中设一道拉条
		CQL4.5-1.5-2		1.5	C180×70×20×2.2	3.94	0.983	
		CQL4.5-1.8-2		1.8	C220×75×20×2.0	3.44	0.942	
		CQL4.5-2.1-2		2.1	C220×75×20×2.5	3.64	0.900	
	H型	HQL6.0-1.8-2	6.0	1.8	H120×75×3.2×4.5	4.91	0.890	跨中设一道拉条
		HQL6.0-2.4-2		2.4	H150×100×3.2×4.5	4.42	0.850	
		HQL6.0-3.0-2		3.0	H200×100×3.2×4.5	3.95	0.782	
		HQL7.5-1.5-2	7.5	1.5	H200×100×3.2×4.5	7.91	0.740	跨中设一道拉条
		HQL7.5-1.8-2		1.8	H200×100×3.2×4.5	6.59	0.836	
		HQL7.5-2.4-2		2.4	H200×100×4.5×6.0	6.69	0.847	
		HQL7.5-3.0-2		3.0	H200×150×3.2×4.5	5.13	0.832	
		HQL9.0-1.2-2	9.0	1.5	H200×100×4.5×6.0	10.71	0.904	跨中设一道拉条
		HQL9.0-1.8-2		1.8	H200×150×3.2×4.5	8.56	0.804	
		HQL9.0-2.4-2		2.4	H250×150×3.2×4.5	6.94	0.835	
		HQL9.0-3.0-2		3.0	H250×150×3.2×4.5	5.55	0.985	

注：1. 墙体为自承重墙，墙梁只考虑其本身重量的弯曲，用于窗顶墙梁时应经验算后确定是否加强。

2. 计算中未考虑风吸力下墙梁内侧的稳定，应按图 11-5 在墙底处加斜拉条。

3. 按轻型门式刚架规程 CECS102:2002，$w_k=\mu_s\mu_z w_0$，$\mu_s w_0$ 按荷载规范 GB 50009—2001，但 w_0 应乘以 1.05。封闭式建筑 μ_s 为 $^{+1.0}_{-1.1}$，w_k 应小于表 11-1 中荷载等级标准值 $[w_k]$。

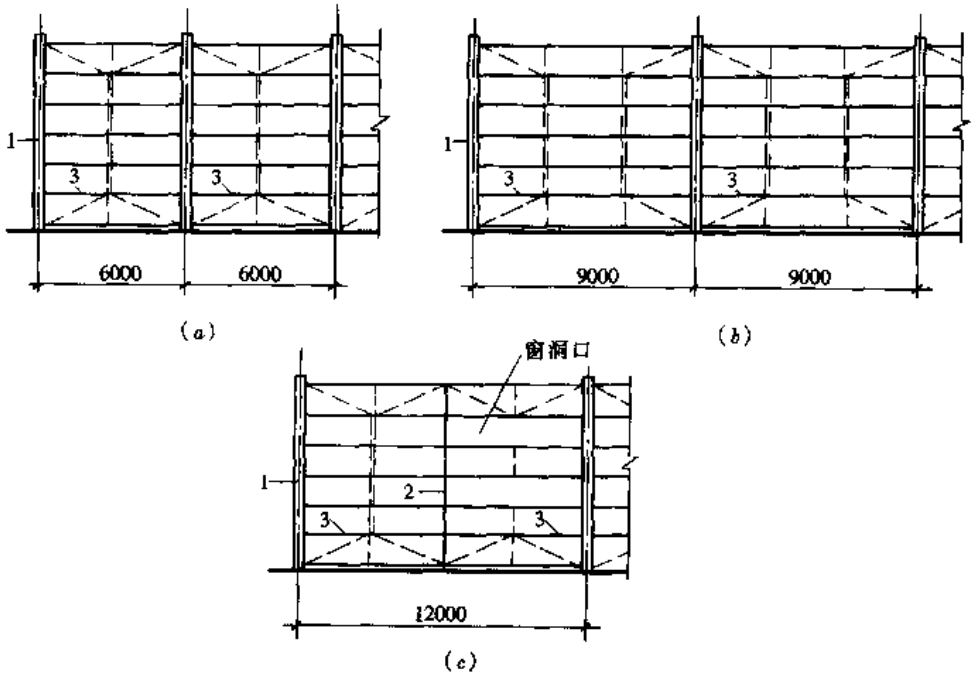
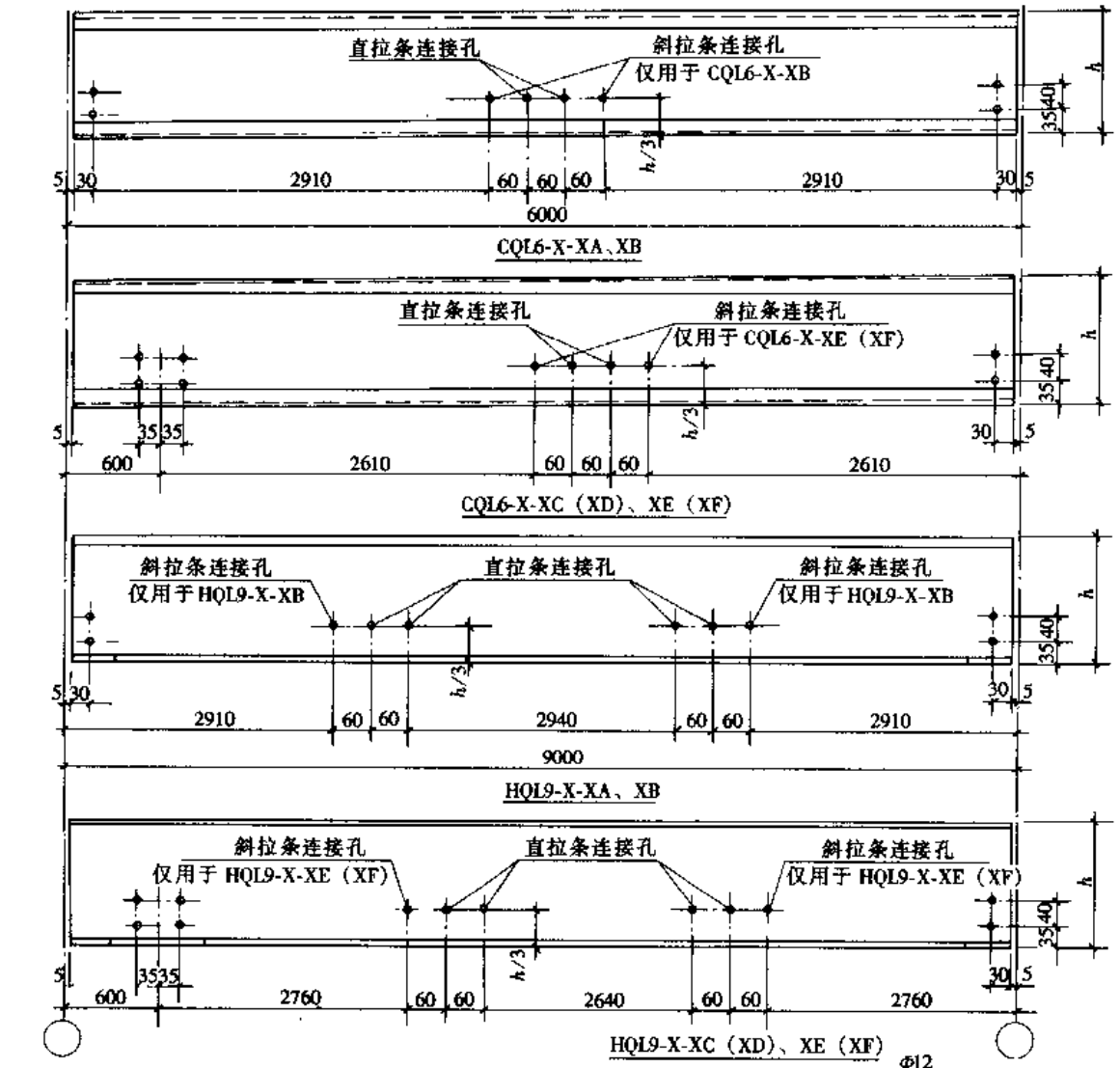
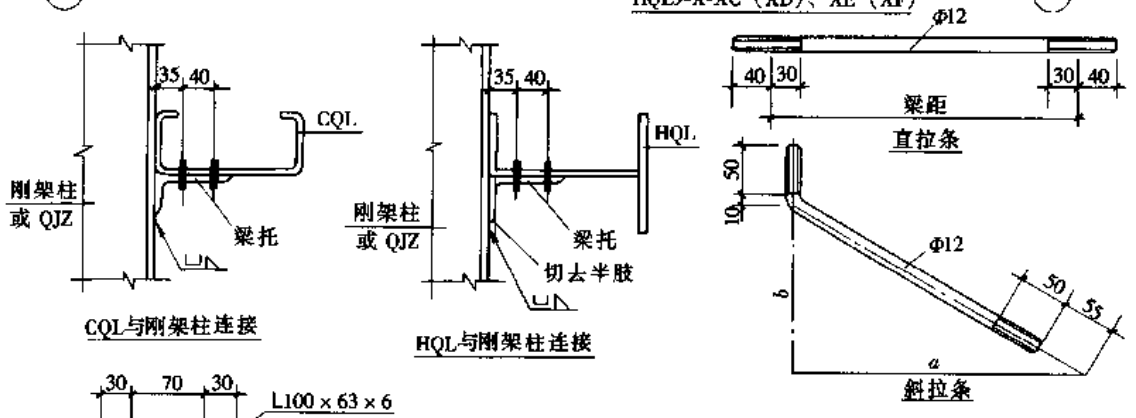


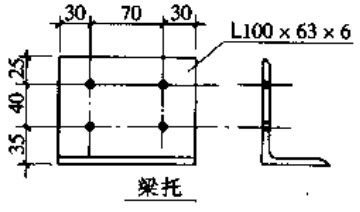
图 11-43 墙架构件布置图（柱距 7.5m 同 b）

（a）柱距 6m；（b）柱距 9m；（c）柱距 12m

1—厂房柱；2—墙架柱；3—横梁







注：1. 本图中 CQL 为卷边向上，当采用卷边向下时，梁托竖肢改为朝上。
2. B 和 E 有斜拉条、C 与 D，E 与 F 为正反关系。
3. 当墙梁高度大于 200 时，墙梁一侧宜与刚架柱焊接。
4. 斜拉条中的 a、b 值根据梁距及拉条位置确定。
5. 螺栓均为 M12，孔为 Φ13。
6. 在墙梁顶部和底部开间内应设置斜拉条和撑杆，撑杆可用角钢或钢管，其 $\lambda \leq 200$，构造见图。

图 11-44　墙梁详图

注：1. 图 11-44 中只表示 CQL6 和 HQL9 的详图。余均参考此图。
2. 凡设一根拉条时可参考 CQL6，两根拉条时可参考 HQL9。

墙梁柱构件选用表 表 11-2

风荷载等级（标准值 [w_k]）	构件编号	柱高（m）	柱距（m）	截面规格	用钢量（kg/m²）	应力比 σ/f	备注
1（0.5kN/m²）	QJZ4.5-4.5-1	4.5	4.5	H120×75×3.2×4.5	1.96	0.718	
	QJZ4.5-6.0-1		6.0	H120×75×3.2×4.5	1.47	0.957	
	QJZ4.5-7.5-1		7.5	H150×100×3.2×4.5	1.41	0.938	
	QJZ4.5-9.0-1		9.0	H200×100×3.2×4.5	1.32	0.794	
	QJZ6.0-4.5-1	6.0	4.5	H150×100×3.2×4.5	2.36	0.998	
	QJZ6.0-6.0-1		6.0	H200×100×3.2×4.5	1.98	0.938	
	QJZ6.0-7.5-1		7.5	H200×150×3.2×4.5	2.05	0.832	
	QJZ6.0-9.0-1		9.0	H200×150×3.2×4.5	1.71	0.998	
	QJZ7.5-4.5-1	7.5	4.5	H200×150×3.2×4.5	3.42	0.779	
	QJZ7.5-6.0-1		6.0	H250×125×3.2×4.5	2.48	0.927	
	QJZ7.5-7.5-1		7.5	H250×150×3.2×4.5	2.22	0.996	
	QJZ7.5-9.0-1		9.0	H300×150×3.2×4.5	1.99	0.960	
	QJZ9.0-4.5-1	9.0	4.5	H250×125×3.2×4.5	3.31	1.000	
	QJZ9.0-6.0-1		6.0	H300×150×3.2×4.5	2.98	0.920	
	QJZ9.0-7.5-1		7.5	H350×175×3.2×4.5	2.79	0.842	
	QJZ9.0-9.0-1		9.0	H350×175×4.5×6.0	3.16	0.759	
	QJZ12-4.5-1	12.0	4.5	H300×150×4.5×6.0	5.40	0.922	
	QJZ12-6.0-1		6.0	H300×150×4.5×8.0	4.81	0.985	
	QJZ12-7.5-1		7.5	H350×175×4.5×8.0	4.50	0.897	
	QJZ12-9.0-1		9.0	H350×200×6.0×8.0	4.54	0.919	
2（0.7kN/m²）	QJZ4.5-4.5-2	4.5	4.5	H150×100×3.2×4.5	2.36	0.786	
	QJZ4.5-6.0-2		6.0	H200×100×3.2×4.5	1.98	0.738	
	QJZ4.5-7.5-2		7.5	H200×100×3.2×4.5	1.58	0.922	
	QJZ4.5-9.0-2		9.0	H200×150×3.2×4.5	1.71	0.785	
	QJZ6.0-4.5-2	6.0	4.5	H200×100×3.2×4.5	2.64	0.981	
	QJZ6.0-6.0-2		6.0	H200×150×3.2×4.5	2.57	0.928	
	QJZ6.0-7.5-2		7.5	H250×150×3.2×4.5	2.22	0.891	
	QJZ6.0-9.0-2		9.0	H300×150×3.2×4.5	1.99	0.858	
	QJZ7.5-4.5-2	7.5	4.5	H250×125×3.2×4.5	3.31	0.970	
	QJZ7.5-6.0-2		6.0	H300×150×3.2×4.5	2.98	0.892	
	QJZ7.5-7.5-2		7.5	H350×175×3.2×4.5	2.79	0.861	
	QJZ7.5-9.0-2		9.0	H350×175×3.2×4.5	2.33	0.979	

续表

风荷载等级（标准值［w_k］）	构件编号	柱高（m）	柱距（m）	截面规格	用钢量（kg/m²）	应力比 σ/f	备注
2（0.7kN/m²）	QJZ9.0-4.5-2	9.0	4.5	H300×150×3.2×4.5	3.98	0.963	
	QJZ9.0-6.0-2		6.0	H350×175×3.2×4.5	3.49	0.939	
	QJZ9.0-7.5-2		7.5	H350×175×4.5×6.0	3.79	0.882	
	QJZ9.0-9.0-2		9.0	H350×150×4.5×8.0	3.40	0.963	
	QJZ12-4.5-2	12.0	4.5	H350×175×4.5×6.0	6.32	0.940	
	QJZ12-6.0-2		6.0	H400×150×4.5×8.0	5.40	0.968	
	QJZ12-7.5-2		7.5	H400×200×4.5×9.0	5.57	0.867	
	QJZ12-9.0-2		9.0	—			

注：同表 11-1 注 3。但 μ_s 宜取 ±1.0。

12 工作平台结构

12.1 一般说明

12.1.1 平台结构的范围

本章仅涉及一般单层工业平台的设计。对于设有一般机械动力设备，如小型电动机、通风机、机械化输送机等或类似的重量较小、振动不大的设备的平台结构，可采用考虑动力系数的方法按静力进行计算。对于承受较大的机械动力设备、机车车辆荷载等或有特殊要求的平台结构，应按有关的专门规范或规定进行计算。

12.1.2 平台结构的组成和分类

1. 组成平台结构通常由铺板、主次梁、柱、柱间支撑，以及梯子、栏杆等组成。

2. 分类

(1) 按使用要求可分为室内和室外平台，承受静力荷载和动力荷载平台、生产辅助平台，以及中、重型操作平台等。

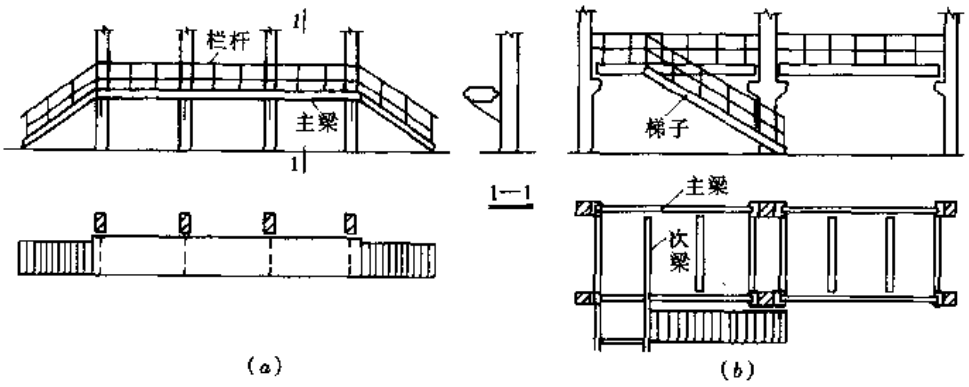


图 12-1 直接支承于厂房柱的平台

(2) 按照支座处理方式的不同，平台结构还可分为：

1) 直接搁在厂房柱的三角架或牛腿上的平台，如图 12-1 所示。图 12-1 (*a*) 为一种安全走道平台；图 12-1 (*b*) 为一种简单的中型操作平台。

2) 一侧支承于厂房柱或建筑物墙体，另一侧设独立柱的平台（图 12-2）。

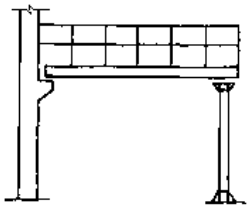


图 12-2 一端支于厂房柱的平台

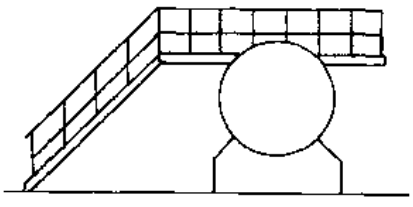


图 12-3 支承于罐体设备的平台

3）支承于大型设备上的平台（图 12-3）。

4）全部为独立柱的平台。图 12-4 是制药厂提炼车间的操作平台。为了便于安装或更新设备，采用了与设备和建筑物脱开的独立平台结构。

此外，对受有较大动力荷载或有重量很大设备的平台，也宜与厂房柱脱开，直接支承于独立柱上。

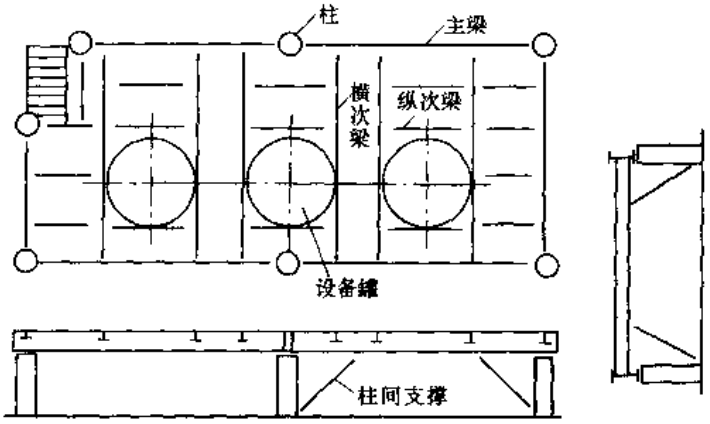


图 12-4　制药厂提炼车间的平台

12.1.3　平台结构的布置

1. 满足工艺生产操作的要求，保证通行和操作的净空。一般通行净空高度不应小于 1.8m，宽度不宜小于 0.9m，不应小于 0.6m。平台四周一般均应设置防护栏杆，栏杆高度一般为 1000mm。当平台高度 > 2000mm 时，尚应在防护栏杆下设置高度为 100 ~ 150mm 的踢脚板。平台应设置供上下通行的梯子，梯子的宽度不宜小于 600mm。

2. 确定平台结构的平面尺寸、标高、梁格及柱网布置时除满足使用要求外，梁、柱的布置尚应考虑平台上的设备荷载和其他较大的集中荷载的位置以及大直径工业管道的吊挂等；

3. 平台结构的布置，应力求做到经济合理，传力直接明确。梁格的布置应与其跨度相适应。当梁的跨度较大时，其间距也宜增大。充分利用铺板的允许跨距，合理布置梁格，以求得较好的经济效果。

4. 平台的梁格有三种类型，即：

（1）单向梁格：仅有一个方向的梁（图 12-1*a*）；

（2）双向梁格：有两种不同体系的梁，即主梁和次梁（图 12-1*b*）；

（3）复式梁格：有三种体系的梁，即主梁、横次梁和纵次梁（图 12-4）。

一般应尽量采用较为简单的梁格。

5. 在可能条件下，平台的梁、板应尽量直接支承在厂房柱、大型设备或其他结构上，以达到经济的目的。

6. 为便于制造，使构件简单，平台结构的主梁、次梁和柱，一般应优先采用热轧型钢，对于梁构件，以采用热轧工字钢或 H 型钢最为经济。当梁的受力或跨度较大以致采用型钢梁不能满足构件的承载能力和刚度要求时，通常采用组合工字形截面焊接梁。

12.1.4 平台结构的荷载

1. 构件等自重；

2. 平台活荷载，对一般工作平台可按 2.0kN/m² 计算，对于检修、安装时的堆料活荷载，可根据实际情况合理分区考虑；

3. 设备荷载，按实际情况考虑；对于一般机械动力设备，其动力影响可采用将设备荷载乘以动力系数 1.1～1.2 的方法来考虑；

4. 对于室外平台，尚应考虑风荷载和雪荷载的作用。

5. 计算平炉、转炉、电炉等工作平台（或其他类似平台）的主梁和柱时，由于堆积检修材料而产生的活荷载，可按下列系数予以折减：

主梁	0.85
柱（包括基础）	0.75

12.1.5 平台结构的计算内容

1. 平台结构应计算铺板，主梁、次梁和柱的强度。

对直接承受动力荷载的平台梁（或桁架）及其连接，尚应满足疲劳强度的要求。

2. 平台结构的稳定性一般不需验算，为此：

铺板宜尽可能密铺在平台梁受压翼缘上并与其牢固连接，使能阻止梁受压翼缘的侧向位移，保证梁的整体稳定性。

3. 平台结构的刚度应满足下列要求：

（1）平台柱及格构柱的缀条，长细比不应超过 $[\lambda] = 150$。

（2）平台梁、平台板的挠度不应超过表 2-11 或表 12-1 的数值。

平台梁、板的容许挠度　　表 12-1

项　次	类　　型	容许挠度值	
		$[u_T]$	$[u_Q]$
1	有轨道的工作平台梁		
	（1）有重轨（重量≥38kg/m）轨道时	$l/600$	
	（2）有轻轨（重量≤24kg/m）轨道时	$l/400$	
2	一般工作平台梁（第 1 项除外）		
	（1）主梁（包括设有悬挂起重设备的梁）	$l/400$	$l/500$
	（2）次梁（包括楼梯梁）	$l/250$	$l/300$
	（3）有抹灰顶棚的次梁	$l/250$	$l/350$
3	平台板		
	（1）压型钢板	$l/300$	
	（2）平钢板	$l/150$	

注：l——梁或板的跨度（对悬伸梁，为悬伸长度的 2 倍）

$[u_T]$——全部荷载标准值产生的挠度（如有起拱应减去拱度）的容许值。

$[u_Q]$——可变荷载标准值产生的挠度容许值。

12.1.6 平台结构的支撑

未与厂房柱等承重结构相联系的独立平台，或平台结构的独立部分，应在某些柱列设

置柱间支撑，使整个平台结构在竖向成为稳定体系。支撑宜布置在柱列中部（图 12-5*a*、*b*、*c*），如因工艺生产条件限制也可布置在边部。

柱间支撑通常采用交叉形（图 12-5*a*），如交叉形与使用要求有矛盾时，可采用门形（图 12-5*b*、12-5*c*）或连续的隅撑（图 12-5*d*），有时也采用横梁与柱刚接的框架形式（图 12-5*e*）。

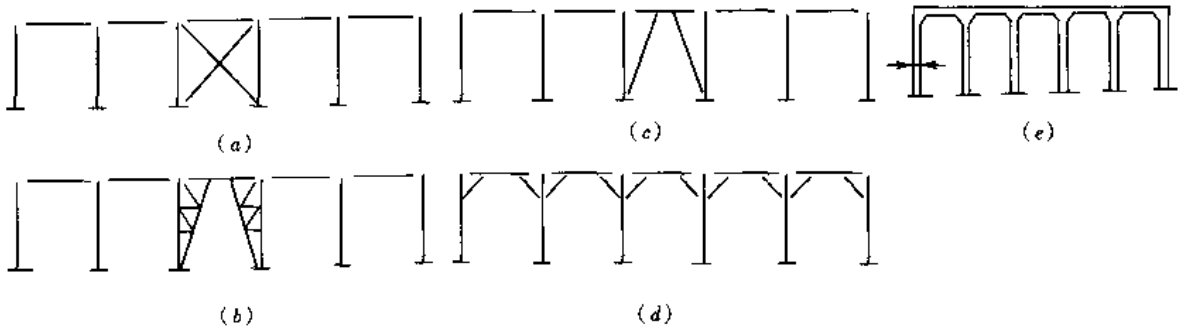


图 12-5　平台柱的柱间支撑形式和布置示例

12.1.7　平台结构的防护措施

受高温作用的平台结构，应根据不同情况采取防护措施，例如：

1. 当平台结构可能受到炽热熔化金属的侵害时，应采用砖或耐热材料做成的隔热层加以保护。

2. 当平台结构的表面长期受辐射热达 150℃以上，或在短时间内可能受到火焰作用时，应采取有效的防护措施，如采用金属隔热板、砖或耐热材料等做成的隔热层加以保护。

12.2　平台结构构件的形式和计算

12.2.1　平台铺板的形式和计算

1. 铺板形式

平台铺板应尽可能采用钢筋混凝土板（图 12-6*a*），尤其当铺板通过连接件与钢梁共同工作（组合梁）最为有利。只有冶金工厂和化工车间的某些平台，根据工艺要求才采用钢铺板。另外悬挑于厂房柱或支承于大型设备上的轻型平台，为了减轻平台自重，也可采用钢铺板。钢铺板有：

（1）平钢板（图 12-6*b*）。对人行通道和经常操作的平台，宜采用花纹平钢板；重型平台常采用普通平钢板上加砖等防护层。

（2）压型钢板（图 12-6*c*）。压型钢板系用薄钢板辊压而成，其刚度大，耗钢量小，跨度可达 6m，尤其在上面浇灌混凝土使成为组合板，更显得优越，可用于一般的平台中。

（3）篦条式铺板（图 12-6*d*、6*e*）。室外平台以及考虑减少积灰和便于观察设备等要求的平台，可采用篦条式。

2. 平钢板的截面形式

铺板的截面形式可分为无肋铺板和有肋铺板（见图 12-7）。无肋铺板宜按构造配置加劲肋，肋的间距一般为板厚的 100 倍或短跨度 2～2.5 倍的较小值。有肋铺板中的板肋常

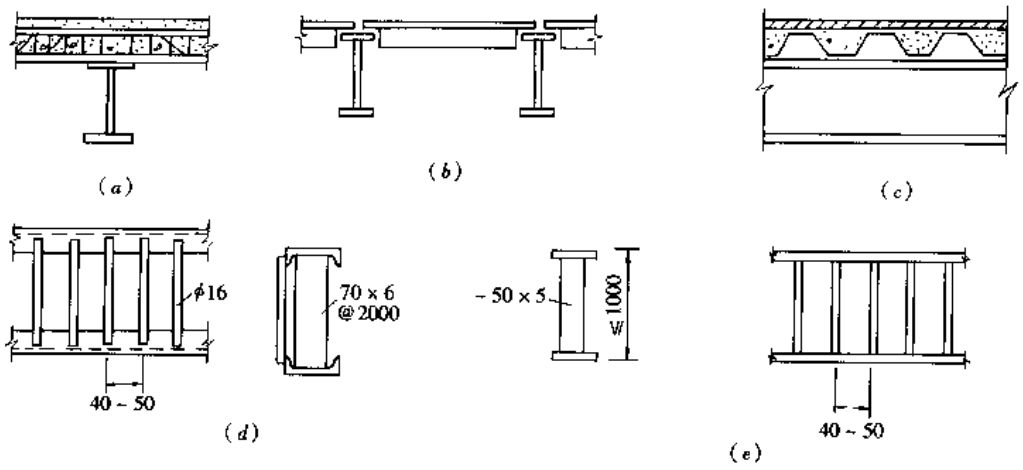


图 12-6 平台铺板形式

采用扁钢或角钢作成。当加劲肋采用扁钢时，加劲肋的高度一般为跨度的 1/12 ~ 1/15，且不宜小于 60mm，厚度不宜小于 5mm；当加劲肋采用角钢时，一般不宜采用截面小于 L45 × 4 或 L56 × 36 × 4 的角钢，并应将角钢肢与钢板焊接，对于不等肢角钢，应将长肢与钢板焊接（图 12-7c）。加劲肋与钢板的连接通常采用间断焊缝连接，间断焊缝的构造要求可参照第 4 章表 4-7 的规定采用。间断焊缝的净距受压时 $\leqslant 15t$；受拉时 $\leqslant 30t$（t 为较薄焊件厚度）。

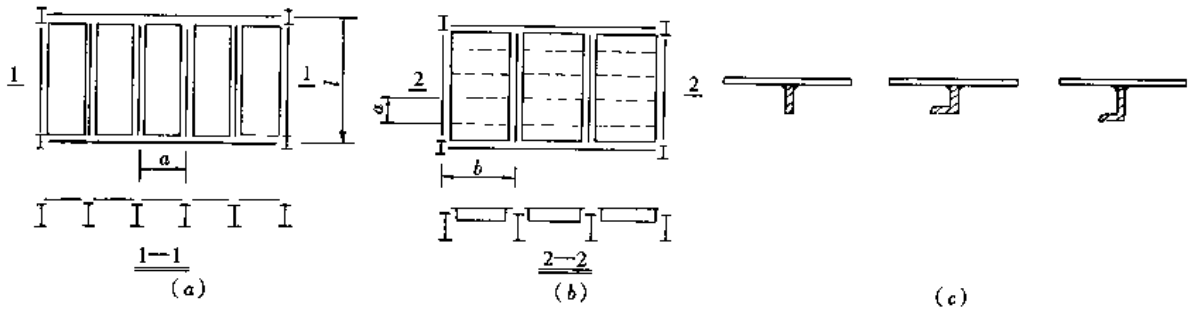


图 12-7 无肋铺板和有肋铺板

（a）无肋铺板；（b）有肋铺板；（c）有肋铺板的截面形式

3. 板的内力计算

平台铺板一般均按均布荷载计算。周边与梁上翼缘以构造间断焊缝（参照第 4 章表 4-7的规定）连接的无肋平板，可近似地按四边简支无拉力受弯板计算（仅按构造配置加劲肋的铺板，仍按无肋铺板计算）。

（1）在均布荷载作用下，四边简支无肋铺板的弯矩、强度和挠度可按下列公式计算：

弯矩

$$M_x = \alpha_1 q a^2 \tag{12-1a}$$

$$M_y = \alpha_2 q a^2 \tag{12-1b}$$

$$M_{xy} = \alpha_3 q a^2 \tag{12-1c}$$

强度

$$\sigma_{max} = \frac{6M_{max}}{\gamma_x t^2} \leqslant [f] \tag{12-2}$$

挠度
$$v_{max}=\beta\frac{q_k a^4}{Et^3}\leqslant[v] \tag{12-3}$$

式中　q、q_k——单位板带上的均布荷载（包括自重）设计值和标准值；

a——四边简支板之短边边长；

t——铺板厚度；

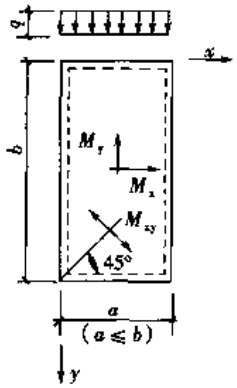
M_x、M_y 和 M_{xy}——四边简支板在 x、y 方向和板角 45°方向的弯矩；

M_{max}——M_x、M_y 和 M_{xy} 中的最大值；

γ_x——截面塑性发展系数，此处取 1.2；

α_1、α_2、α_3 和 β——系数，按表 12-2 采用。

四边简支无肋铺板的弯矩和挠度计算系数值　　表 12-2

简　图	b/a	α_1	α_2	α_3	β
	1.0	0.0479	0.0479	0.065	0.0433
	1.1	0.0553	0.0494	0.070	0.0530
	1.2	0.0626	0.0501	0.074	0.0616
	1.3	0.0693	0.0504	0.079	0.0697
	1.4	0.0753	0.0506	0.083	0.0770
	1.5	0.0812	0.0499	0.085	0.0843
	1.6	0.0862	0.0493	0.086	0.0906
	1.7	0.0908	0.0486	0.088	0.0964
	1.8	0.0948	0.0479	0.090	0.1017
	1.9	0.0985	0.0471	0.091	0.1064
	2.0	0.1017	0.0464	0.092	0.1106
	>2.0	0.1250	0.0375	0.095	0.1422

注：表中粗线左边的为 α_{max}

（2）设计带肋铺板时（见图 12-8），可将平板部分和加劲肋部分分开考虑，并按下列要求计算在均布荷载作用下的弯矩、强度和挠度。

1）在进行平板部分的计算时，将加劲肋视为平板的支承点，当平板的宽度 b 与加劲肋的间距 a 之比 $b/a\leqslant 2.0$ 时，宜按四边简支的双向板计算，见公式（12-1）～（12-3）。

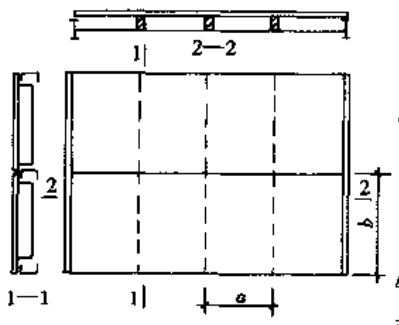


图 12-8　有加劲肋铺板计算示意

当平板为两边支承或宽度 b 与加劲肋的间距 a 之比 $b/a>2.0$ 时，仍按公式（12-1）～（12-3）计算，但系数 α、β 取为：

对单跨简支板或双跨连续板　$\alpha=0.125$，$\beta=0.140$；

三跨或三跨以上连续板　$\alpha=0.10$，$\beta=0.110$。

2）有肋铺板的加劲肋应按两端简支的 T 形截面（用扁钢作加劲肋）或 T 字形截面（用角钢作加劲肋）梁计算其强度和挠度，截面中包括加劲肋每侧各 15 倍平板厚度在内（图 12-9）中。作用于加劲肋的荷载应取两加劲肋之间范围的总荷载。

加劲肋计算跨度 l，可取图 12-10 中的 $l_2 + l_1$。

强度

$$\frac{M}{\gamma_x W_{nx}} \leqslant f \qquad (12\text{-}4)$$

挠度

$$v = \frac{5}{385}\frac{q_k l^4}{EI_x} \leqslant [v] \qquad (12\text{-}5)$$

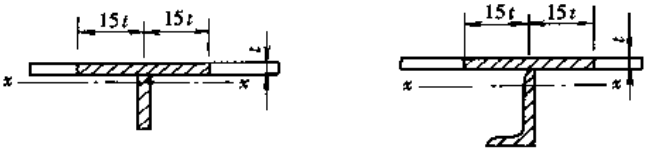


图 12-9 加劲肋的计算截面

式中 I_x，W_{nx}——图 12-9 影线部分的截面惯性矩和净截面模量；

γ_x——塑性发展系数，对 T 形截面，上边缘为 1.05，下边缘为 1.2；对丁字形截面，上、下边缘均为 1.05。

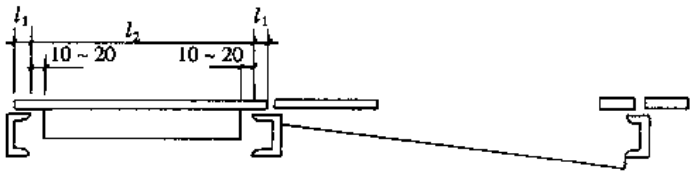


图 12-10 加劲肋计算跨度图示

12.2.2 平台梁的形式和计算

1. 平台梁宜尽量采用轧制截面（普通工字钢、H 型钢或槽钢）。当轧制截面尺寸不满足要求时，宜采用三块板焊成的工字形截面；当需要有较大的抗扭刚度时，可采用焊接箱形截面；在特殊情况下（如跨度很大而荷载较小时），可采用桁架式梁（图 12-11）。

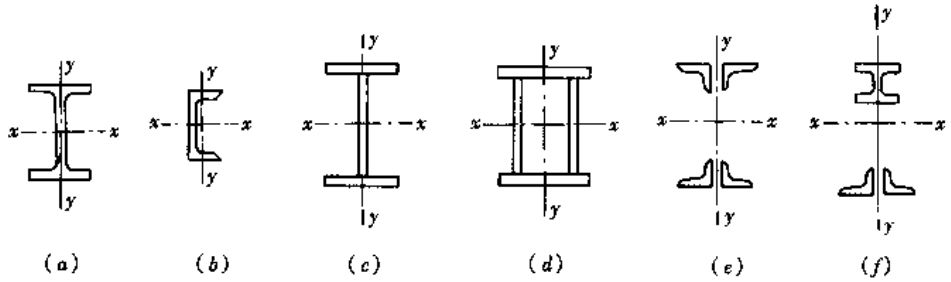


图 12-11 平台梁的截面形式

2. 单向弯曲（绕 x 轴）的型钢梁应按表 3-1 所列公式进行计算：

（1）强度计算

1）抗弯强度应按下式计算

$$\frac{M}{\gamma_x W_{nx}} \leqslant f \qquad (12\text{-}6)$$

式中 γ_x——截面塑性发展系数，受静力荷载或间接受动力荷载的梁，$\gamma_x = 1.05$；受压翼缘的自由外伸宽度 b 与厚度 t 比，$\frac{b}{t} > 13\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 的梁，直接受动力荷载的梁，$\gamma_x = 1.0$。

2）抗剪强度。型钢梁的腹板较厚，抗剪强度一般均能满足要求，因此只在最大剪力处的截面有较大削弱时，才按下式计算抗剪强度：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leqslant f_v \tag{12-7}$$

3）局部承压强度

梁在固定集中荷载以及支座反力作用处，当无支承加劲肋时应按下列公式计算腹板圆角根部截面处的局部压应力（图 12-12）：

跨中集中荷载处

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_z} \leqslant f \tag{12-8}$$

支座处

$$\sigma_c = \frac{R}{t_w l_z} \leqslant f \tag{12-9}$$

式中　l_z——集中力在腹板计算高度（h_0）边缘的分布长度，参照公式（3-4），按下列公式计算：

在跨中集中荷载处，　$l_z = a + 5h_y$　　(12-10a)

在支座处，　$l_z = a + a' + 2.5h_y \leqslant a + 5h_y$　　(12-10b)

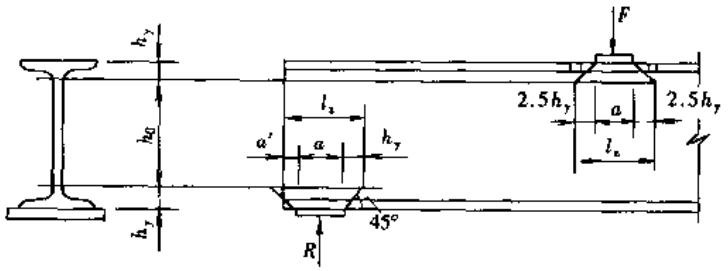


图 12-12　梁的局部压应力计算

（2）整体稳定验算

当梁的受压翼缘上无密铺连牢的铺板，或工字形截面简支梁受压翼缘侧向支承点间距离 l_1 与其宽度 b_1 之比超过表 3-2 的数值时，应根据公式（3-6）以下述公式计算整体稳定：

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} \leqslant f \tag{12-11}$$

式中　φ_b——整体稳定系数，按表 3-4 的规定采用。

（3）挠度计算可根据公式（3-40）以下列公式进行：

简支梁：

受均布荷载

$$v = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k l^4}{EI_x} \leqslant [v] \tag{12-12}$$

跨中一个集中荷载

$$v = \frac{F_k l^3}{48EI_x} \leqslant [v] \tag{12-13}$$

跨间多个集中荷载

$$v = \frac{M_x l^2}{10EI_x} \leqslant [v] \tag{12-14}$$

连续梁：

$$v=\left(\frac{M_x}{10}-\frac{M_1+M_2}{16}\right)\frac{l^2}{EI_x}\leqslant[v] \tag{12-15}$$

式中 M_x——梁跨中最大弯矩（标准值）；

M_1、M_2——与 M_x 同时产生的两端支座负弯矩（标准值），代入公式时取正号。

3. 计算焊接组合工字梁时，可按下列方法确定其截面的初步尺寸：

（1）截面高度 h

按经济条件，

$$h_w\approx 3W_x^{0.4}\ (\text{cm}) \tag{12-16}$$

式中 $W_x=\dfrac{M_x}{\alpha f}$——需要的截面抵抗矩（单位 cm^3）；无孔眼时，取 $\alpha=1.05$；有孔眼时，取 $\alpha=0.95$；对直接受动力荷载的梁 α 值应分别取为 1.0 和 0.9。

按刚度条件，梁的最小高度与跨度之比 h_{min}/l，可按表 12-3 确定。

等截面简支梁的最小高跨比　　表 12-3

相对容许挠度 $[v]/l$		1/250	1/400	1/600
$\dfrac{h_{min}}{l}$	Q235 钢	1/24	1/15	1/10
	Q345 钢	1/16	1/10	1/6.5
	Q390 钢	1/14.5	1/9	1/6

实际采用的梁截面高度 h，应大于按刚度条件确定的 h_{min}，并大约等于按经济条件确定的 h_w，并应使不超过建筑净空所允许的尺寸。一般宜使腹板高度 h_w 为 50mm 或 100mm 的倍数。

（2）梁的腹板厚度 t_w

按抗剪要求，

$$t_w\geqslant\frac{1.2V_{max}}{h_wf_v} \tag{12-17}$$

按经验公式，

$$t_w\approx\sqrt{h_w}/3.5 \tag{12-18}$$

在公式（12-17）中，t_w 和 h_w 的单位均为 mm。实际采用腹板厚度应考虑钢板的现有规格，并不宜小于 6mm。

（3）一个翼缘的截面积可按下式计算

$$A_f=\frac{W_x}{h_w}-\frac{1}{6}t_wh_w \tag{12-19}$$

翼缘板厚度 $t=A_f/b_f$，b_f 为翼缘板宽度，一般可取 $b_f=(0.2\sim0.4)\ h$。通常 t 不宜小于 8mm。此外，受压翼缘板外伸宽度与厚度之比不应超过 $15\sqrt{\dfrac{235}{f_y}}$。

4. 单向弯曲的焊接组合梁，按上述确定截面的初步尺寸后，应进行下列计算：

（1）抗弯强度：按公式（12-6）进行。当受压翼缘板外伸宽度与厚度之比超过 $13\sqrt{235/f_y}$（但不得超过 $15\sqrt{235/f_y}$）时，应取 $\gamma_x=1.0$。

剪应力计算：按公式（12-7）进行。

局部压应力计算：按公式（12-8）～公式（12-10）进行，但对焊接梁，公式（12-10a）和公式（12-10b）中的 h_y 应取为翼缘板厚度。

在腹板计算高度（对焊接梁即腹板全高）边缘处，若同时受有较大正应力 σ、较大剪应力 τ 和局部压应力 σ_c 时（如连续梁支座处或梁的翼缘截面改变处等），应按公式（3-5）计算折算应力：

$$\sqrt{\sigma^2+\sigma_c^2-\sigma\sigma_c+3\tau^2}\leqslant\beta_1 f \tag{12-20}$$

式中　β_1——系数：当 σ 与 σ_c 异号时，取 $\beta_1=1.2$；当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c=0$ 时，取 $\beta_1=1.1$。

σ 和 σ_c 以拉应力为正值，压应力为负值。

（2）当组合梁需要计算整体稳定性时，则按公式（12-11）进行计算。

（3）组合梁的挠度计算，按公式（12-12）～公式（12-15）进行。

5. 为保证组合梁腹板的局部稳定性，应根据不同情况设置加劲肋。

对 $\sigma_c=0$ 梁（一般梁），应按下列规定配置腹板加劲肋（图 12-13）：

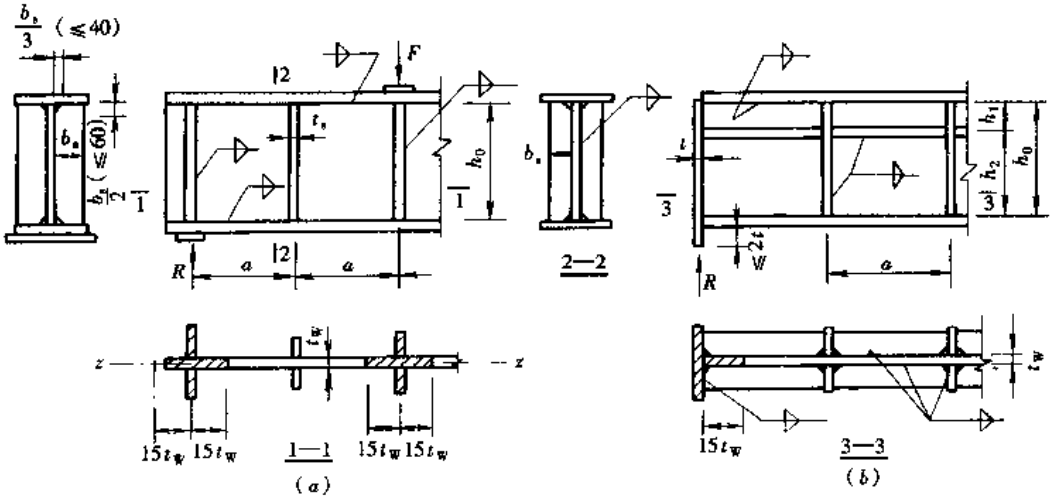


图 12-13　组合梁的加劲肋

（1）当 $h_0/t_w\leqslant 80\sqrt{235/f_y}$ 时，可不配置加劲肋。

（2）当 $80\sqrt{235/f_y}<h_0/t_w<170\sqrt{235/f_y}$ 时，应配置横向加劲肋，其中 $h_0/t_w\leqslant 100\sqrt{235/f_y}$ 时，加劲肋间距 a 按构造确定（$a\leqslant 2.5h_0$），其他情况先设加劲肋间距 a 后按表 3-13 所列公式计算。

6. 梁的支座处和上翼缘受有较大固定集中荷载处，宜设置支承加劲肋。如果不设支承加劲肋，或梁上翼缘受有移动的集中荷载时，则加劲肋的间距应按有局部压应力（即 $\sigma_c\neq 0$）的梁进行计算。

7. 加劲肋通常采用钢板作成，宜在腹板两侧成对配置，也允许单侧配置。

8. 钢板横向和纵向加劲肋的截面尺寸和间距应符合第 3 章表 3-14 的规定。用角钢作加劲肋时，应将角钢肢尖焊于腹板，其截面惯性矩不得小于相应钢板加劲肋的惯性矩。

9. 梁的支承加劲肋应在腹板两侧成对配置，并应按承受支座反力 R 或固定集中荷载

F 的轴心受压构件计算其在腹板平面外的稳定性，其计算公式为：

$$\frac{R\ (\text{或}\ F)}{\varphi A} \leqslant f \tag{12-21}$$

式中 A——加劲肋和加劲肋每侧各 $15t_w\sqrt{235/f_y}$ 范围内的截面面积（图 12-13）；

φ——轴心受压构件稳定系数，按 $\lambda = h_0/i_z$ 查得（b 类截面）。

支承加劲肋的端部一般刨平顶紧于梁的翼缘，并应按下式计算其端面承压应力：

$$\sigma_{ce} = \frac{R\ (\text{或}\ F)}{A_{ce}} \leqslant f_{ce} \tag{12-22}$$

式中 A_{ce}——端面承压面积；

f_{ce}——钢材承压强度设计值。

10. 焊接组合工字梁腹板与翼缘的连接焊缝，通常采用连续的双面角焊缝（焊脚尺寸 $h_f \geqslant 0.5t_w$ 和 6mm），并按下式计算其强度：

$$\frac{1}{2h_e}\sqrt{\left(\frac{VS_1}{I}\right)^2 + \left(\frac{F}{\beta_f l_z}\right)^2} \leqslant f_f^w \tag{12-23}$$

式中 h_e——角焊缝的有效厚度，$h_e = 0.7h_f$；

S_1——翼缘毛截面对梁中和轴的面积矩；

β_f——系数：直接承受动力荷载的梁，$\beta_f = 1.0$；其他情况，$\beta_f = 1.22$。

当梁上翼缘的固定集中荷载处有顶紧上翼缘的支承加劲肋时，公式（12-23）中的 $F = 0$。

在平台梁上受有相当于重级工作制吊车的动力荷载时，则上翼缘与腹板的连接焊缝宜采用焊透的对接焊缝。此时，可不必计算其强度。

12.2.3 平台柱的形式和计算

1. 平台柱一般设计为等截面的实腹柱。实腹柱的常用截面为普通工字型钢、H 型钢、焊接工字形截面，有时也采用方管或圆管截面以及钢板、槽钢、T 形钢与工字型钢的组合截面。内力很小的柱可用双角钢十字形截面。格构式柱可用于长度较大的平台柱（图 12-14）。

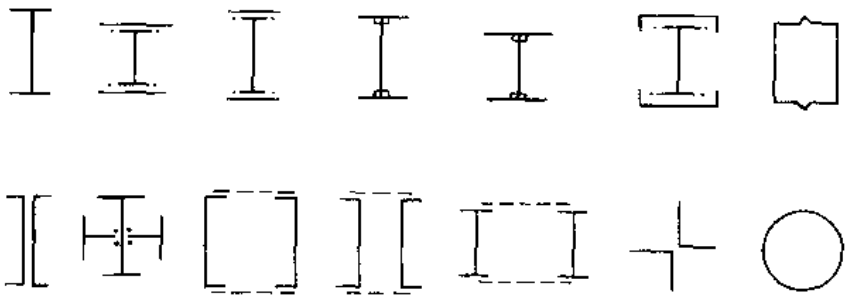


图 12-14 平台柱的截面形式

2. 一般的平台柱通常设计成上下两端均为铰接，对于承受较大荷载的平台柱，应设计成上端为铰接，下端为刚接，或上下两端均为刚接。

3. 平台柱的计算长度，应按下列情况确定：

(1) 当平台上部无侧移（例如上部与刚度大的设备或建筑物相连，或布置有如图

12-5*a*、*b*、*c* 的柱间支撑）时，对上、下端设计为铰接的柱，其计算长度取为 $l_0 = H$。H 为柱长度方向不动支承点间距离（柱脚底面和梁的支承处均作为不动支承点）。

（2）当平台上部有侧移（例如图 12-5*d* 的连续隅撑柱，或图 12-5*e* 的框架结构）时，平台柱的计算长度应按下式计算：

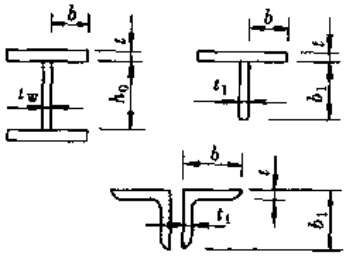
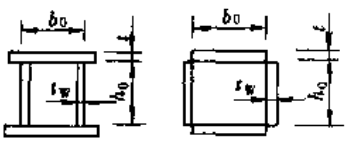
$$l_0 = \mu H \tag{12-24}$$

式中　H——柱高，对隅撑柱为隅撑以下的柱高；

μ——计算长度系数，按表 15-2 采用。对单层平台，采用该表中的第一行（柱与基础铰接）或最后一行（柱与基础刚接）的数值。

4. 柱的板件宽厚比，应满足表 12-4 的要求。

柱的板件宽厚比　　表 12-4

项次	截面简图	轴心受压柱	压弯柱（弯矩作用在竖直平面）
1		$\frac{b}{t} \leqslant (10+0.1\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-45)	$\frac{b}{t} \leqslant 15\sqrt{\frac{235}{f_y}}$　表 3-10
2		表 3-19 $\frac{b_1}{t_1} \leqslant (13+0.17\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ （焊接） $\frac{b_1}{t_1} \leqslant (15+0.2\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ （剖分 T 型钢）	当 $\alpha_0 \leqslant 1.0$ 时， $\frac{b_1}{t_1} \leqslant 15\sqrt{235/f_y}$　表 3-19 当 $\alpha_0 > 1.0$ 时， $\frac{b_1}{t_1} \leqslant 18\sqrt{235/f_y}$
3		$\frac{h_0}{t_w} \leqslant (25+0.5\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-46)	当 $0 \leqslant \alpha_0 \leqslant 1.6$ 时， $h_0/t_w \leqslant (16\alpha_0+0.5\lambda+25)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-73*a*) 当 $1.6 < \alpha_0 \leqslant 2.0$ 时， $h_0/t_w \leqslant (48\alpha_0+0.5\lambda-26.2)\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ (3-73*b*)
4		$\frac{b_0}{t}\left(\text{或}\frac{h_0}{t_w}\right) \leqslant 40\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 表 3-10	$\frac{b_0}{t} \leqslant 40\sqrt{235/f_y}$ 表 3-10
5			$\frac{h_0}{t_w} \leqslant$（按项次 3 公式（3-73*a*）（3-73*b*）右侧乘以 0.8，但允许不小于 $40\sqrt{235/f_y}$）
6		$\frac{d}{t} \leqslant 100\left(\frac{235}{f_y}\right)$ 第 2.5.1 节	$\frac{d}{t} \leqslant 100\left(\frac{235}{f_y}\right)$ 第 2.5.1 节

续表

项 次	截面简图	轴心受压柱	压弯柱（弯矩作用在竖直平面）
说明		λ 为柱两方向长细比的较大值 当 $\lambda<30$ 时，取 $\lambda=30$ 当 $\lambda>100$ 时，取 $\lambda=100$	1. λ 为杆在弯矩作用平面内的长细比。当 $\lambda<30$ 时，取 $\lambda=30$；当 $\lambda>100$ 时，取 $\lambda=100$ 2. $\alpha_0=(\sigma_{max}-\sigma_{min})/\sigma_{max}$ σ_{max}和 σ_{min}为腹板计算高度边缘的最大压应力和另一边缘的应力。压应力取正值，拉应力取负值（计算时不考虑稳定系数）

5. 轴心受压柱的截面选择应按下列规定采用：

轴心受压平台柱截面尺寸的选择，可按下列情况确定。

（1）对采用型钢的实腹式柱，可先假定长细比 $\lambda=80\sim120$，而后求出所需的回转半径来选择截面。

（2）对组合工字形截面柱，其截面尺寸可在下列范围内采用：

截面高度可取 $h\approx(1/15\sim1/30)H$；当荷载较大而柱高度较小时，应取较大值，反之应取较小值。

截面宽度可取 $b\approx0.7h$；

翼缘板厚度 $t\geqslant b/30$ 且不小于 8mm；

腹板厚度 $t_w\approx(1/50\sim1/70)h$ 且不小于 6mm。

（3）格构式柱的截面尺寸，可先按实轴（x 轴）假定柱的长细比，通常取 $\lambda_x=60\sim90$，以求所需的回转半径和截面面积，选择柱肢截面。

（4）确定轴心受压柱的截面形式时，应尽量使柱的两个方向的长细比相等，对于组合截面的板件，应在满足表 12-4 宽厚比的要求下，尽可能薄些。

（5）根据上述原则和实际经验初选截面尺寸后，按下式计算长细比和稳定性：

$$\lambda_x=\frac{l_{ox}}{i_x}\leqslant[\lambda] \tag{3-47a}$$

$$\lambda_y=\frac{l_{oy}}{i_y}\leqslant[\lambda] \tag{3-47b}$$

$$\frac{N}{\varphi A}\leqslant f \tag{3-44}$$

轴心受压稳定系数 φ 应由 λ_x 和 λ_y 的较大值查得。对格构柱虚轴的长细比，应取换算长细比。

（6）当柱有孔洞削弱时，尚应计算其净截面处（面积为 A_n）的强度：

$$\sigma=\frac{N}{A_n}\leqslant f \tag{3-41}$$

6. 格构式轴心受压柱的缀件（缀条或缀板），应满足下列要求：

（1）缀条一般用单角钢作成，与柱的分肢应组成完整的桁架形式（图 12-15）。分肢的长细比应满足 $\lambda_1=l_1/i_1\leqslant0.7\lambda_{max}$，$i_1$ 为分肢截面对弱轴 1-1 的回转半径，λ_{max}为柱两方向

长细比（对虚轴为换算长细比）的较大者。在满足上述要求的前提下，缀条形式宜采用无横杆的三角式（图 12-15a）。

缀板柱是一种多层框架形式（图 12-16）。一般缀板沿柱纵向的宽度取 $h \geqslant 2a/3$，厚度 $t \geqslant a/40$，柱端部缀板宜取 $h \approx a$（a 为两分肢轴线间的距离）。但同一截面处缀板线刚度之和$\left(2 \times \dfrac{b^3 t}{12a}\right)$不得小于一个分肢线刚度（$I_1/l_1$）的 6 倍。

缀板柱的分肢长细比 λ_1 应满足 $\lambda_1 = l_1/i_1 \leqslant 40$ 和 $0.5\lambda_{max}$（应 $\lambda_{max} < 50$ 时，取 $\lambda_{max} = 50$）。

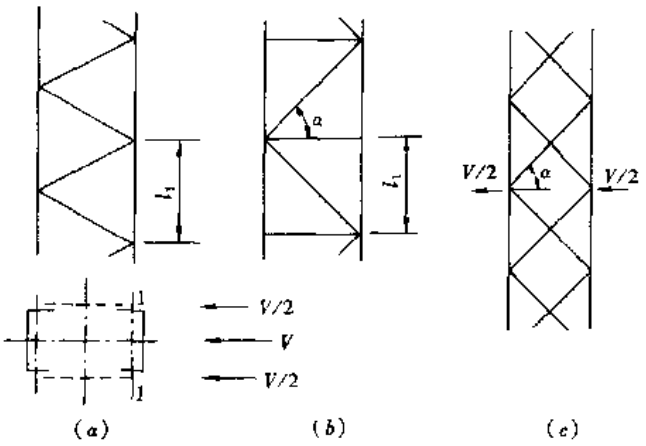


图 12-15　缀条柱简图

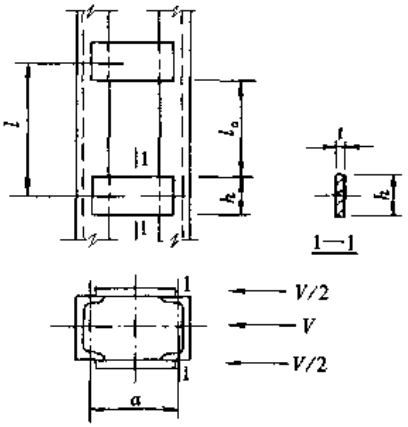


图 12-16　缀板柱简图

（2）格构式轴心受压柱的缀件应能承受按下式计算的剪力：

$$V = \frac{Af}{85}\sqrt{\frac{f_y}{235}} \tag{3-62}$$

剪力 V 值可认为沿柱全长不变，且由两缀件面分担。

（3）图 12-15 的斜缀条的内力 N_S 应按下式计算：

$$N_S = \frac{V}{2\cos\alpha} \tag{12-25}$$

斜缀条应按轴心受压杆件计算其稳定性，并控制其长细比［λ］= 150）。横缀条可采用与斜缀条相同截面或略小些。只控制其长细比。

（4）缀板与柱分肢的连接焊缝应考虑下列内力的共同作用（图 12-17）：

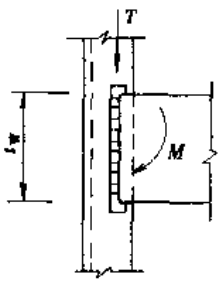


图 12-17

剪力，

$$T = \frac{Vl}{2a} \tag{12-26}$$

弯矩，

$$M = \frac{Vl}{4} \tag{12-27}$$

连接角焊缝应按下式计算：

$$\sqrt{\left(\frac{T}{h_e l_w}\right)^2+\left(\frac{6M}{\beta_f h_e l_w^2}\right)^2}\leqslant f_f^w \tag{12-28}$$

7. 受压受弯柱（压弯柱）通常使弯矩绕强轴作用，其强度和稳定性应按公式（3-68）～（3-70）和表 3-21 项次 1，3，4 的规定计算。

缀件的形式和计算方法与第 6 条相同，但剪力 V 应取柱的实际剪力和公式（3-62）规定的剪力两者中的较大值。

弯矩绕虚轴作用的压弯柱宜采用缀材，不宜采用缀板。

12.3 平台结构的连接和构造

12.3.1 平台铺板的构造

1. 人行走道平台和经常操作的平台，铺板宜用花纹钢板。当采用普通平钢板时，板的表面宜电焊花纹或加冲泡防滑（图 12-18）；对室外的平钢板宜设漏水孔（图 12-19）。

2. 分单元安装的平台铺板，如单元板块的面积较大时，宜沿板的周边设置构造加劲肋，以增强板块在吊装过程中的刚度。

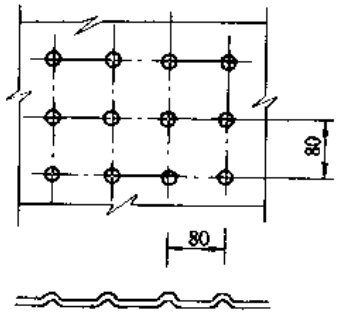


图 12-18 平钢板的冲泡

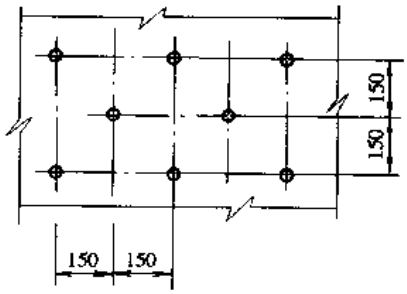


图 12-19 漏水孔

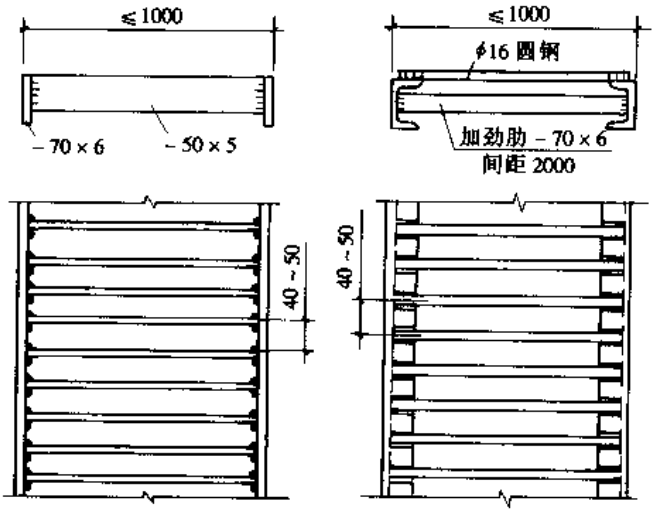


图 12-20 一般平台篦条式铺板

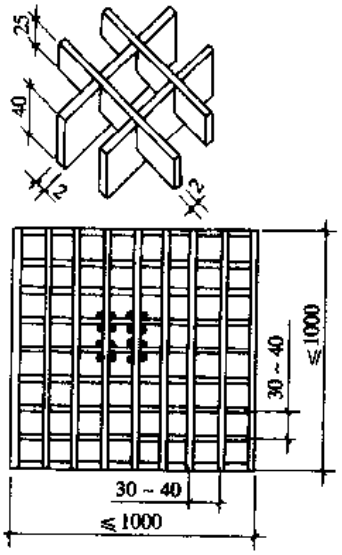


图 12-21 一般平台格子式铺板

要求经常装拆的活动铺板，应设置吊环或挂钩孔洞。

3. 根据使用需要，平台铺板还可采用由条钢或圆钢组成的篦条式铺板（图 12-20）和由条钢组成的格子式铺板（图 12-21）。

12.3.2　平台铺板的板面开洞

设有局部孔洞的铺板，当为圆孔且直径 $\phi \geqslant 500$mm，或当为矩形孔且短边 $a \geqslant 500$mm 时，一般宜按图 12-22 所示在孔洞边处设置构造加劲肋予以加强。

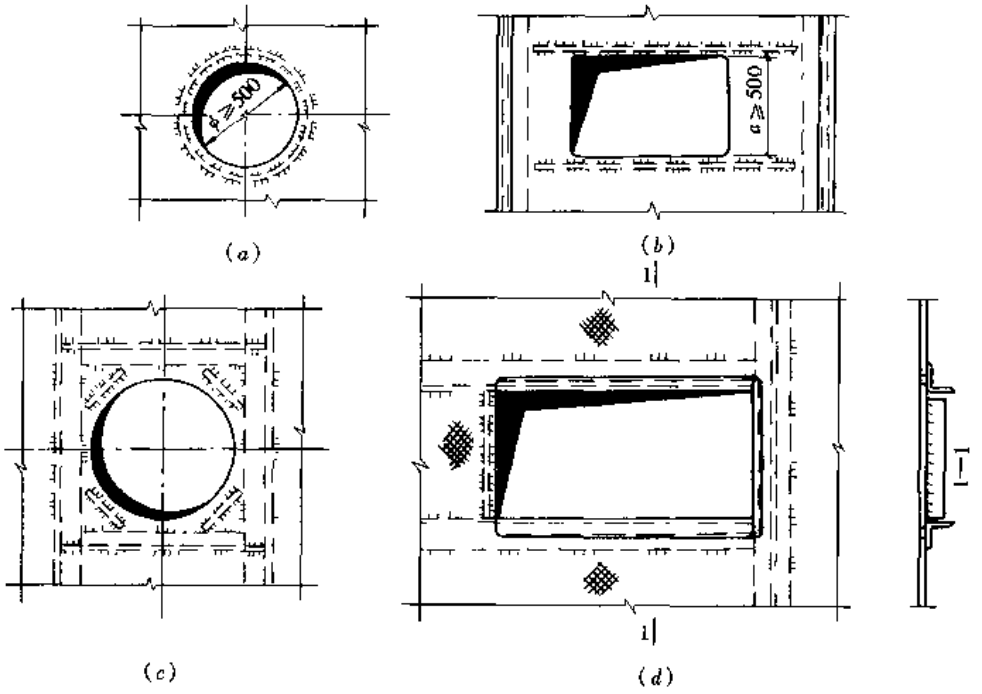


图 12-22　设有孔洞的铺板构造加劲

（a）圆孔的一般构造加劲；（b）方孔的一般构造加劲；

（c）圆孔采用梁的加劲；（d）方孔采用梁的加劲

12.4　平台梁的构造及其计算特点

12.4.1　焊接梁的翼缘板

当焊接梁的翼缘板用两层钢板作成时，外层板与内层板的厚度之比宜为 0.5～1.0。不沿梁通长设置的外层钢板，其理论截断处的外伸长度 l_1 应满足下列要求（图 12-23）。

端部有正面焊缝：

当 $h_f \geqslant 0.75t_2$ 时，$l_1 \geqslant b$；

当 $h_f < 0.75t_2$ 时，$l_1 \geqslant 1.5b$；

端部无正面焊缝：$l_1 \geqslant 2b$

b 和 t_2 分别为外层翼缘板的宽度和厚度，h_f 为焊脚尺寸。

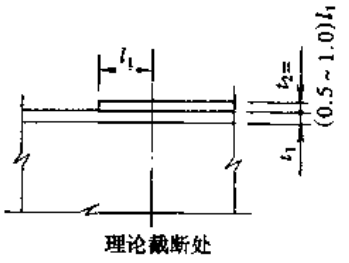


图 12-23　外层翼缘板的截断

12.4.2　梁的拼接

梁需要接长的拼接，对型钢梁宜采用直接对焊（图 12-24

a），有时也可采用加拼接板的对接（图12-24b）。

当为工地拼接时，基本上可在同截面处采用对焊，或采用高强度螺栓连接（图12-24c）。对焊接组合梁，当为工厂拼接时，翼缘和腹板的对焊拼接位置宜互相错开（图11-25）。

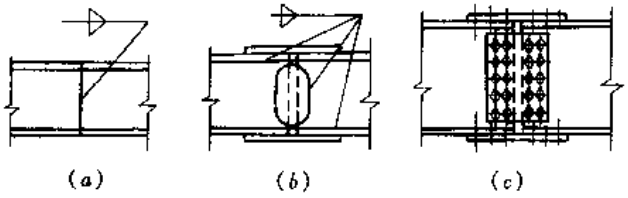


图 12-24 梁的拼接

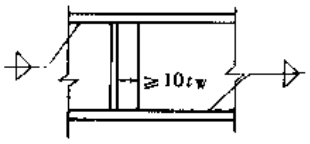


图 12-25 梁翼缘、腹板错开拼接

12.4.3 次梁与主梁的连接

1. 次梁与主梁最简单的连接方法是叠接（见图 12-26）。即把次梁直接搁在主梁上，并用焊缝或螺栓加以连接。叠接所需的建筑净空大，采用这种连接方法常会受到限制。

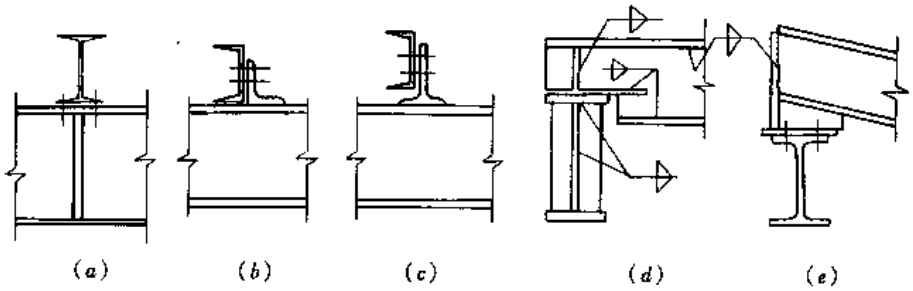


图 12-26 次梁与主梁的叠接

2. 次梁与主梁的等高连接是普遍采用的方法。

在这些连接中，也可作成铰接和刚接，铰接见图 12-27～30。刚接见图 12-31。

（1）次梁与主梁为铰接连接时，其连接螺栓或焊缝应按次梁支座反力计算，但由于这种连接并非理想铰接，实际上在连接处将会有弯矩作用。因此，可将反力增加 20%～30%来计算螺栓或焊缝。

图 12-27（a）的连接形式为，次梁支承在连接于主梁腹板的悬挑牛腿上，次梁的支座反力 R 全部由悬挑牛腿承受。此时，悬挑牛腿及其连接应按承受剪力 $V=R$ 和弯矩 $M=R\cdot e$ 进行计算。

悬挑牛腿顶板除满足强度要求外，尚应保证有必要的刚度。因此，顶板的厚度不宜小于 16mm，肋的厚度不宜小于 8mm，连接焊缝的厚度不宜小于 6mm。

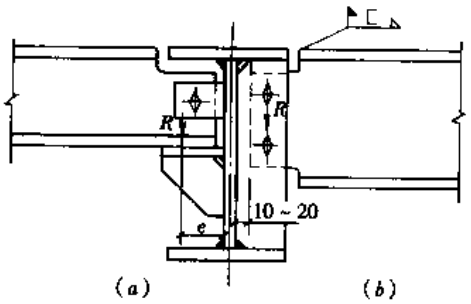


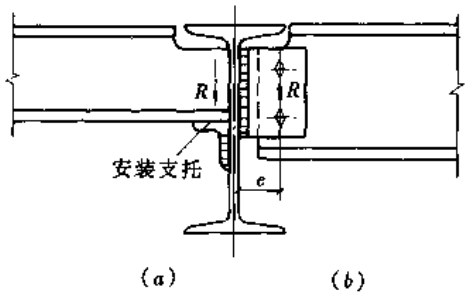
图 12-27 次梁与主梁的等高铰接连接（一）

图 12-27（b）的连接形式则为，次梁采用焊缝连接于主梁的横向加劲肋上，次梁的支座反力 R 全部由焊缝承受，此时，焊缝应按承受 $V=(1.2\sim1.3)R$ 进行计算。

（2）图 12-28（a）的连接形式为，次梁直接用安装连接焊缝与主梁腹板相连。为方

便安装，在主梁腹板相应的位置上设置安装支托。此时，次梁与主梁腹板的连接焊缝，应按承受剪力 $V=(1.2\sim1.3)R$ 来进行计算。

图 12-28（b）的连接形式为，次梁借助于连接角钢与主梁腹板连接。此时，次梁与连接角钢的连接焊缝按承受剪力 $V=(1.2\sim1.3)R$ 来进行计算；连接角钢与主梁腹板的连接焊缝按承受剪力 $V=R$ 和弯矩 $M=R\cdot e$ 来进行计算。



12-28　次梁与主梁的等高铰接连接（二）

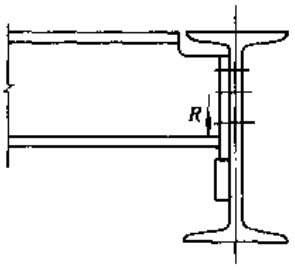


图 12-29　次梁与主梁的等高铰接连接（三）

（3）图 12-29 为，次梁的支座反力由连接于主梁腹板的支托承受。此时，支托与主梁腹板的连接焊缝应按剪力 $V=(1.2\sim1.3)R$ 来进行计算。次梁与主梁腹板的螺栓按安装螺栓设置。

（4）整体制作并整体安装的平台部分，梁与梁的连接可采用直接对焊的平接（图 12-30）。

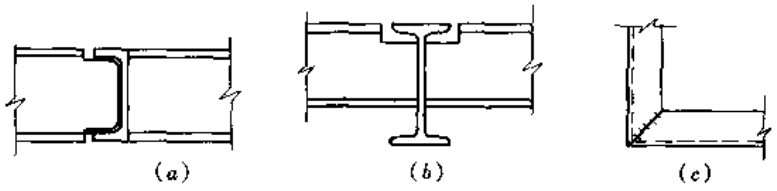


图 12-30　直接对焊的平接

（5）在连续梁中，可采用图 12-31 所示的连接方法；也就是把次梁与主梁作成刚性连接。

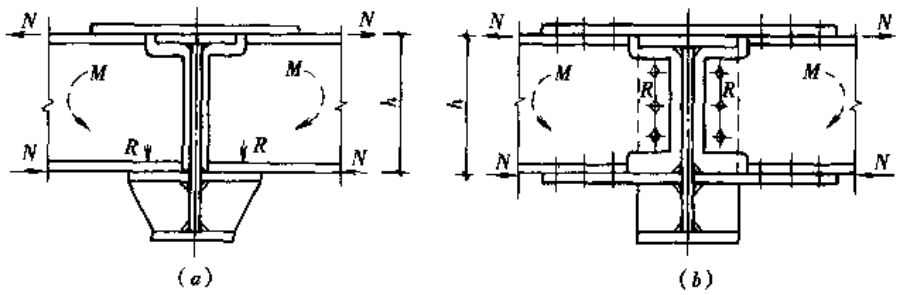


图 12-31　次梁与主梁的等高刚性连接

（a）焊接连接；（b）高强度螺栓连接

图 12-31（a）为，次梁上翼缘的连接盖板厚度 t 应按等强度或 $t=N/b\,[f]$ 来计算；此处 $N=M/h$，b 为连接盖板的宽度，可根据次梁上翼缘板的宽度和布置焊缝的条件来确

定。连接盖板与次梁上翼缘板的连接焊缝以及次梁下翼缘板与支托顶板的连接焊缝，应按水平力 N 来计算；支托可参照图 12-27（a）的要求确定。

3. 图 12-32 所示的次梁与主梁为不等高刚性连接，也可按以上的要求确定。

当次梁与主梁采用不等高铰接连接时，可取消次梁上下翼缘与主梁的连接，改成次梁与主梁的腹板间用角钢的螺栓连接（图 12-28b）。

4. 梁支承于砌体或钢筋混凝土柱上的支座构造，如图 12-33 所示。支座板与柱（或墙体）的接触面积应按支承材料的承压强度计算。

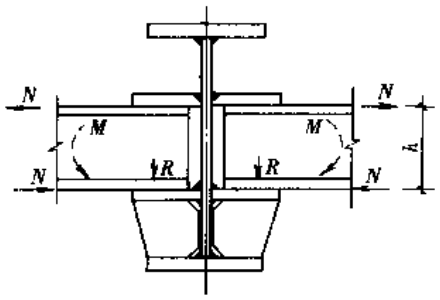


图 12-32 次梁与主梁的不等高刚性连接

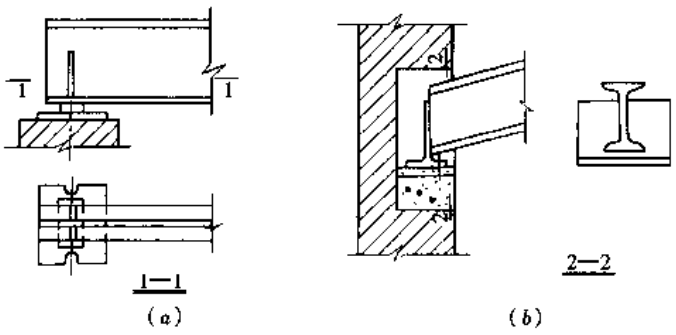


图 12-33 梁的支座

12.5 平台柱的构造和梁柱的连接

12.5.1 平台柱的构造

当实腹式柱的腹板计算高度与厚度之比 $h_0/t_w > 80$ 时，应采用间距不大于 $3h_0$ 的横向加劲肋加强。横向加劲肋的截面尺寸按表 3-14 确定。

格构式柱和组合实腹式柱应设置横隔（图 12-34）。横隔间距不得大于柱截面较大宽度的 9 倍和 8m。在受有较大水平力处和运送单元的端部应设置横隔。

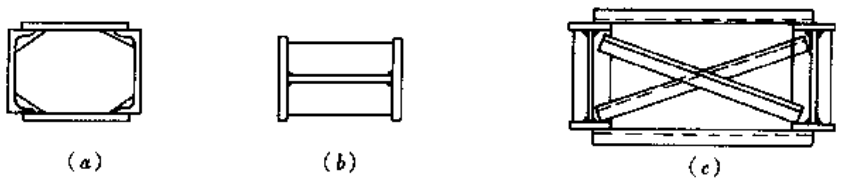


图 12-34 柱的横隔

12.5.2 平台梁与柱的连接及其计算特点

1. 梁与柱铰接有以下两种构造形式。

（1）将梁直接设置在柱顶上，则连接的构造比较简单。如图 12-35 所示。

图 12-35（a）是梁与实腹式柱柱顶的连接构造，梁的支座总反力 R_z 由顶板经顶板与柱加劲肋的连接焊缝或通过梁加劲肋端面承压传给柱加劲肋，再经过柱加劲肋与柱腹板的竖向连接焊缝将力传给柱腹板。柱加劲肋可近似地按承受荷载 $R/z/2$ 的矩形截面悬臂梁计算，计算时通常先假定肋高 h_s 和厚度 t_s（$t_s \geqslant b_s/15$，且不宜小于 8mm），然后验算其弯曲强度和剪切强度。加劲肋与顶板的连接焊缝按承受荷载 $R/2$ 计算，当计算的焊缝过大

时，可将加劲肋刨平，顶紧于柱顶板，并进行端面承压强度验算。加劲肋与柱腹板的连接焊缝按承受剪力 $V = R/2$ 和弯矩 $M = Rb_s/4$ 计算。当梁的反力很大时，加劲肋宜作成整块，而在柱腹板开槽并用焊缝焊成整体，然后将其端面刨平并与顶板顶紧焊接，以直接传递梁的反力。柱顶板的厚度一般取不小于 16mm；当采用加劲肋将梁反力传给柱腹板的传力方案时，柱的腹板不宜太薄。

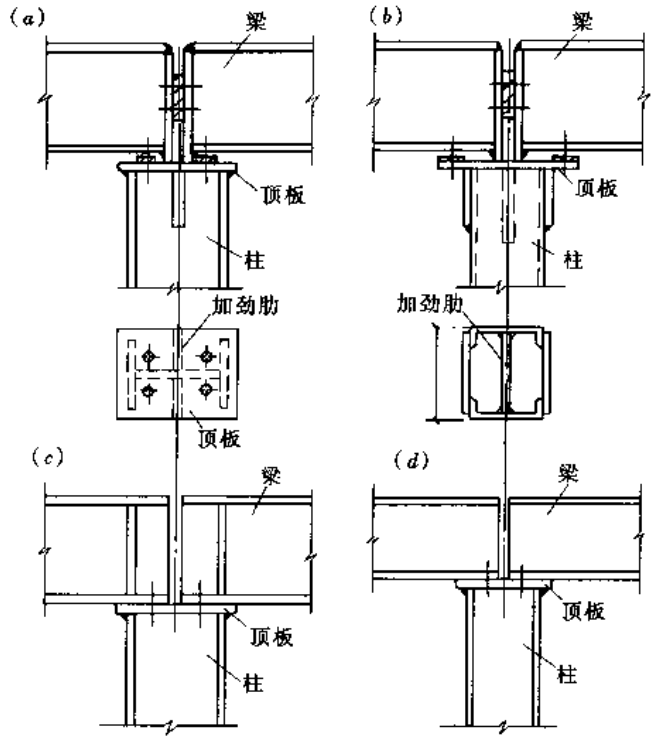


图 12-35　梁与柱的铰接连接（一）

图 12-35（b）是梁与格构式柱柱顶的连接构造，柱加劲肋可近似地按承受均布荷载 $q = R/a$ 的简支梁计算，其高度和厚度应根据弯曲强度和剪切强度来确定，并且肋的厚度不宜小于 $a/50$ 及 8mm。加劲肋与顶板的连接焊缝及加劲肋与柱肢腹板的连接焊缝均按承受剪力 $V = R$ 来计算。

图 12-35（c）的梁柱连接构造形式是将梁端的加劲肋正对着柱的翼缘板，因此可近似地认为，梁对支座的压力是由梁端加劲肋传至顶板，后经顶板与柱翼缘板的连接焊缝传至柱身，此时，其连接焊缝可近似地按承受剪力 $V = R/2$ 来计算。

图 12-35（d）的梁柱连接构造形式适用于梁支座反力很小的情况。此时，根据梁承受荷载大小梁端可设置加劲肋也可不设加劲肋。当不设端加劲肋时，可近似地认为每个梁端的支座压力呈三角形分布，此时，顶板与柱翼缘的连接焊缝可近似地按承受剪力 $V = 3R/2$（R 为每个梁端的支座反力）来计算。

（2）将梁连接于柱侧面上，如图 12-36 所示。

图 12-36（a）、（b）所示的连接构造形式，是由支托传递梁的支座反力，支托与柱的连接焊缝按承受剪力 $V =$（1.2～1.3）R 来计算，梁与柱的连接螺栓按构造设置。

图 12-36（c）所示的连接构造形式是由悬挑牛腿传递梁的支座反力，悬挑牛腿及其与

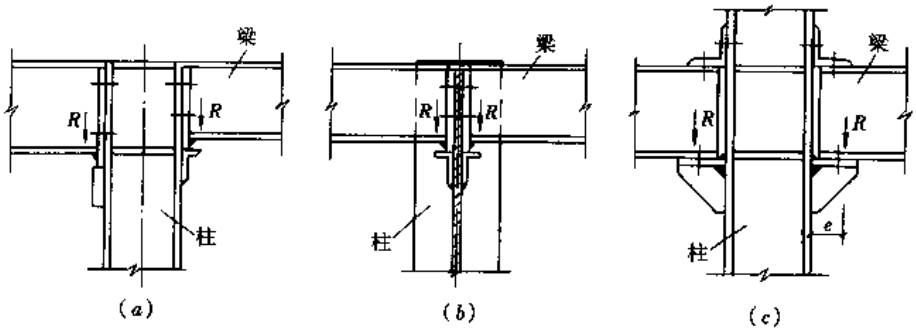


图 12-36　梁与柱的铰接连接（二）

柱的连接按承受剪力 $V = R$ 和弯矩 $M = R \times e$ 计算。

2. 平台梁与柱刚接的构造形式示例如图 12-37 所示。

图 12-37（a）的连接形式，梁端弯矩 M 由梁翼缘承担，剪力 V 由梁腹板承担；因此，梁端处焊于柱翼缘的上下水平连接板及其连接，以及上下水平连接板与梁翼缘的连接焊缝，应分别按承受水平力 $N = M/h$ 来计算。梁端处的肋板与柱翼缘的连接焊缝，以及梁腹板与肋板的连接焊缝，应分别按承受剪力 V 来计算。

对于图 12-37（b）的连接形式，仍可按以上的要求确定。

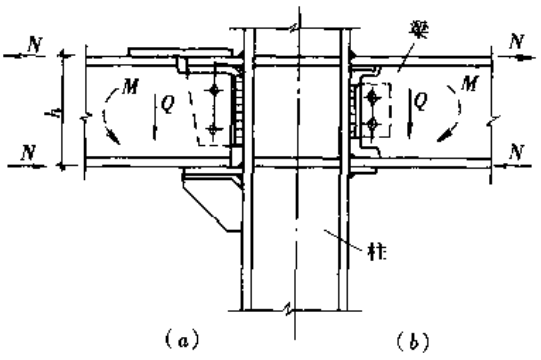


图 12-37 梁与柱的刚性连接

当梁与柱的刚性连接采用高强度螺栓连接时，其计算原则和力的分配与焊缝计算的要求相同。

对承受较大荷载的梁与柱的连接，尚应对连接处的柱腹板及加劲肋等进行强度计算。

12.6 平台柱的柱脚及柱间支撑计算

12.6.1 平台柱的柱脚

1. 柱脚底板的尺寸

应根据柱脚的受力情况和构造要求，参照第 10 章的要求确定。

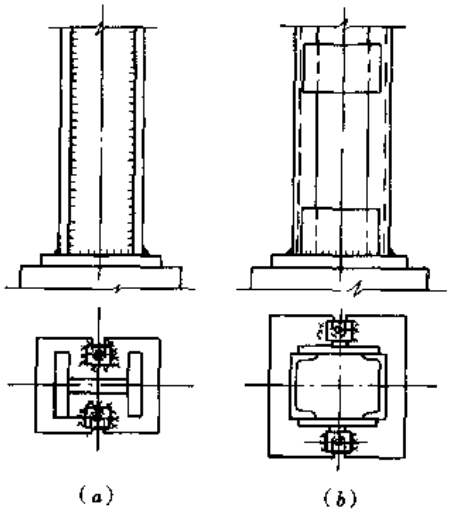


图 12-38 平台柱的铰接柱脚

底板的厚度，在荷载较轻的平台中一般不宜小于 16mm；在荷载较重的平台中一般不宜小于 20mm；在任何情况下，室外平台的柱脚底板厚度均不应小于 20mm。

2. 柱肢与柱脚底板的连接焊缝

通常应按传递全部柱肢内力来确定。当连接焊缝按构造确定时，其厚度不宜小于 6mm。

3. 柱脚锚栓

（1）刚接柱脚每侧所需锚栓的总计算面积，可按第 10 章公式（10-59）和（10-62）的规定计算。

（2）铰接柱脚，应在柱截面最大惯性矩的主轴位置设置两个柱脚锚栓，使其成为假定的铰接支点（图 12-38），当柱脚为刚接时，可做成如第 10 章图 10-10 所示形式。

平台柱的柱脚锚栓，一般可在 M20 ~ M30 的范围内采用。对室外平台，柱脚锚栓不宜小于 M24。

12.6.2 平台柱柱间支撑的计算

1. 平台柱的柱间支撑形式如图 12-5 所示，一般多采用十字形交叉支撑或八字形支撑。

2. 支撑通常采用一个单角钢或由两个角钢组成的 T 形或十字形截面。当支撑的平面

外计算长度较大时，可采用双片式支撑；双片支撑的截面形式和连系杆的布置，可参照第10章图10-45、图10-46和图10-51确定。

支撑杆件当为单角钢时，一般不宜采用截面小于∟63×5或∟63×40×5的角钢，当采用槽钢时不宜小于[8；对于双片式支撑的连系杆不宜小于∟45×4。

3. 支撑的容许长细比和支撑杆件长细比的计算，可按表2-15、表2-16的规定进行。

4. 支撑杆件的内力计算和截面计算，可参照第10章第10.3.3第2款规定进行。

5. 支撑的构造及其连接，可参照第10章第10.3.4条的要求确定。

12.7　栏杆和钢梯

12.7.1　栏杆

1. 栏杆的高度一般为1000mm，对高空及安全要求较高的区域，宜用1200mm（图12-39）。

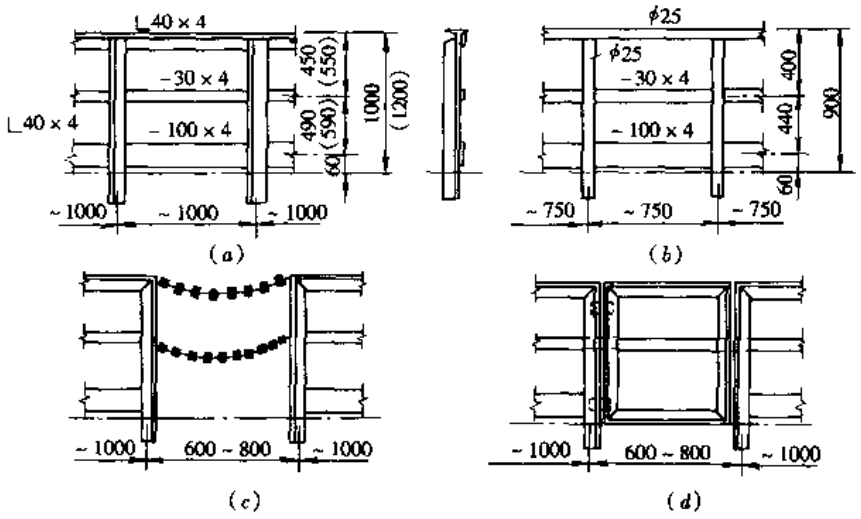


图12-39　栏杆的形式和截面

（a）一般栏杆；（b）圆钢栏杆；（c）链式活动栏杆；（d）门式活动栏杆

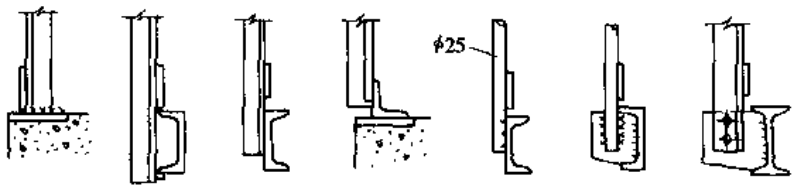


图12-40　栏杆立柱与平台的连接

栏杆由立杆、顶部扶手、中部纵条以及踢脚板等组成，其主要部件（立杆和顶部扶手）宜用角钢作成（图12-39*a*）。有时限于材料供应可采用圆钢（图12-39*b*）。由于圆钢的承载能力和刚度较差，一般仅用于不经常通行的走道平台和设备防护栏杆，且其高度宜降低为900mm。

有条件时，栏杆的主要部件也可用钢管或冷弯薄壁型钢来代替角钢。

2. 栏杆各部件之间宜采用焊缝连接。在有通行或操作特殊需要时，可局部设计成活动的栏杆（图12-39*c*、*d*）。

栏杆可分段整体制作。立杆与平台边梁的连接可采用工地焊缝或螺栓连接（图12-40）。

12.7.2 钢梯

1. 钢梯有直梯、斜梯和转梯等几种。直梯通常是在不经常上下或因场地限制不能设置斜梯时采用。斜梯是在工业厂房及其构筑物经常采用的钢梯形式。转梯是在布置斜梯有困难或不合理时采用；因其结构复杂，一般仅在筒体结构中采用。

2. 直梯宽度一般采用600～700mm。为了保证安全，当直梯高度 H 大于3m时，应从高度为2m开始设置保护圈（图12-41）。

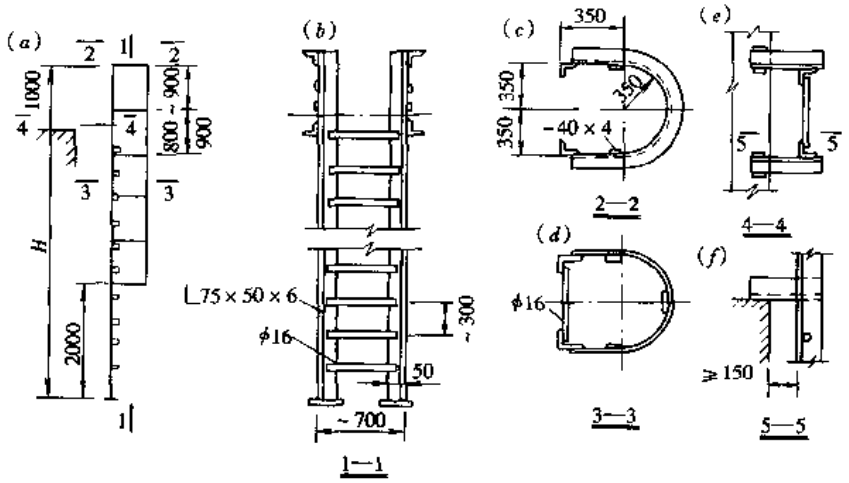


图 12-41 直梯的形式和构造

（*a*）直梯简图；（*b*）直梯的形式和截面；（*c*）顶部保护圈；（*d*）中部保护圈；（*e*）、（*f*）直梯与平台的连接

直梯的竖向荷载按集中力为1.5kN考虑。通常直梯的边立柱采用角钢L75×50×6（H < 4m时）或L80×50×6（H = 4～6m时），踏步采用 d = 16mm的圆钢。

3. 经常通行的钢梯宜采用斜梯。斜梯的倾角通常为45°～60°，有条件时以选用45°为宜。斜梯的宽度一般为700mm，特殊情况可加宽至800～1200mm。

斜梯的竖向荷载按实际情况考虑，但不宜小于2.0kN/m²（对水平投影面）。

无特殊要求的斜梯（即荷载为2.0kN/m²的斜梯）的部件尺寸和构造如下：

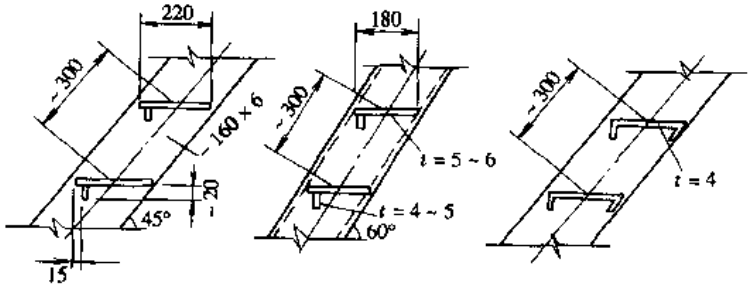


图 12-42 斜梯梯梁及踏步

(1) 梯梁用 -160×6 钢板或[16 槽钢 (图 12-42);

(2) 踏步的斜距为 300mm 左右，一般采用 $t=5\sim6$mm 花纹钢板或 $t=4$mm 的压弯成形的钢板作成 (图 12-42);

(3) 斜梯顶部与平台的连接构造如图 12-43 所示;

(4) 斜梯的梯脚与基础的连接可采用 $d=16$mm 的锚栓或焊于基础的预埋件上 (图 12-44a、b)，梯脚与平台的连接一般采用焊接，有时也采用螺栓连接。

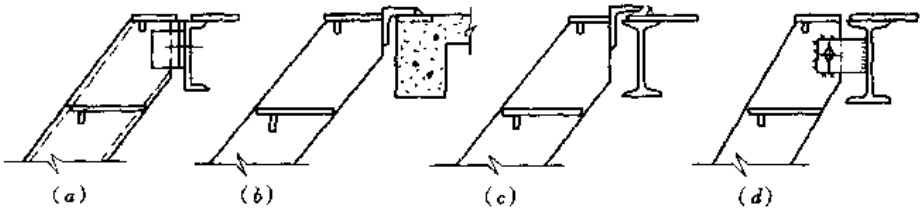


图 12-43　斜梯顶部与平台的连接

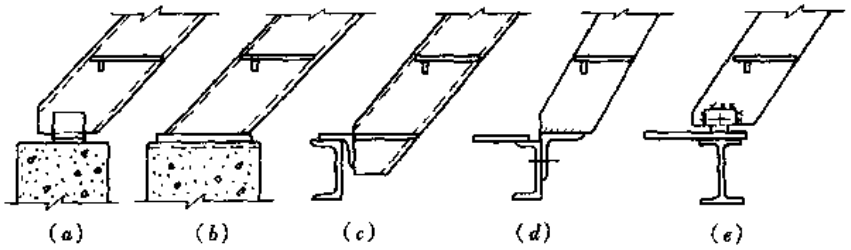


图 12-44　斜梯梯脚的构造

4. 斜梯的栏杆与平台栏杆相同，但可取消踢脚板 (图 12-45)。

5. 斜梯高度超过 4m 时，应考虑设置长约 600～800mm 的休息平台。斜梯与休息平台梁可用一根弯折梁。若弯折梁的强度或刚度不足时，应在休息平台下加支柱 (图12-46b) 或其他支承 (如支于设备的三角架等)。

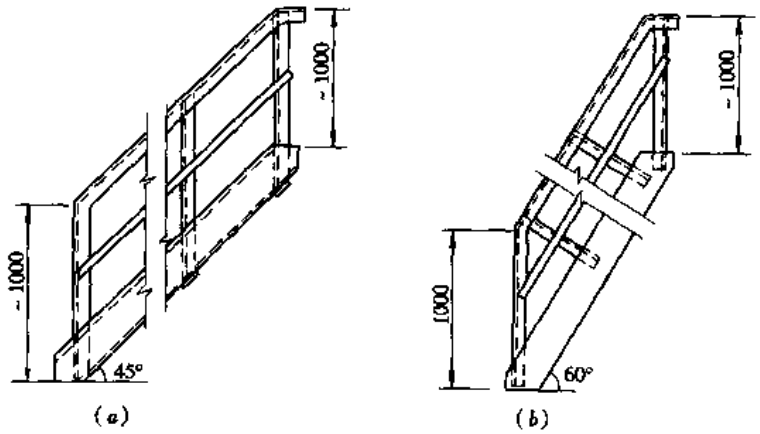


图 12-45　斜梯的栏杆

6. 当斜梯梯梁长度较大而采用钢板作成，侧向刚度较差时，宜在梯梁下部设置平面支撑 (图12-46)。

7. 转梯的构造与一般斜梯相类似。图 12-47 为支于筒壳上的转梯示例，其主要尺寸如下:

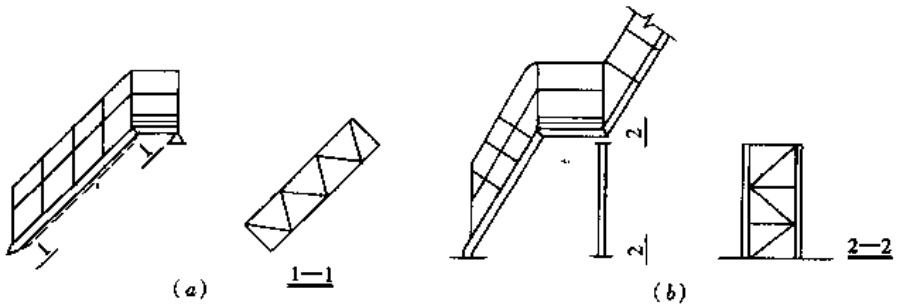


图 12-46 有休息平台的斜梯

转梯斜度 $$\mathrm{tg}\alpha = H/l_1 \tag{12-29}$$

内梯梁长度 $$L_1 = \sqrt{l_1^2 + H^2} \tag{12-30}$$

外梯梁长度

$$L_2 = \sqrt{l_2^2 + H^2} \tag{12-31}$$

式中 l_1、l_2——内、外梯梁的水平投影长度；

H——转梯的高度。

转梯的踏步如图 12-48 所示。

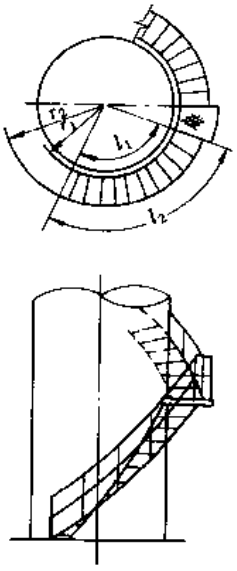


图 12-47 转梯简图

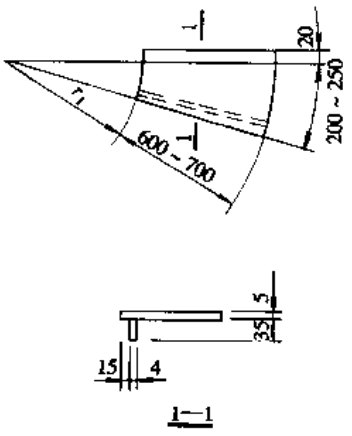


图 12-48 转梯踏步

转梯的休息平台应用三角架支承于筒壳上。为保证转梯的强度和侧向刚度，往往在转梯中部也应设置支撑架。

13 制作、运输、安装、防锈和防火

13.1 概 要

13.1.1 钢结构的制作与安装单位，须经有关部门审查核准，具有足够的工程技术人员和合格工人，以及必要的技术装备。

13.1.2 钢结构的制作和安装必须严格按施工图进行。施工前，制作和安装单位应按施工图的要求，编制制作工艺和安装施工组织设计，并在施工过程中认真执行、严格实施。

13.1.3 制作钢结构的钢材、连接材料及防腐、涂装材料等，其材质、规格均应符合设计规定。上列各种材料除须有出厂合格证明外，尚应进行必要的检验，以确认其材质。

13.1.4 除本章另有规定者外，钢结构的制作和安装要求尚应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001。

13.2 钢结构的制作

13.2.1 钢结构制作工序

如图 13-1 所示。

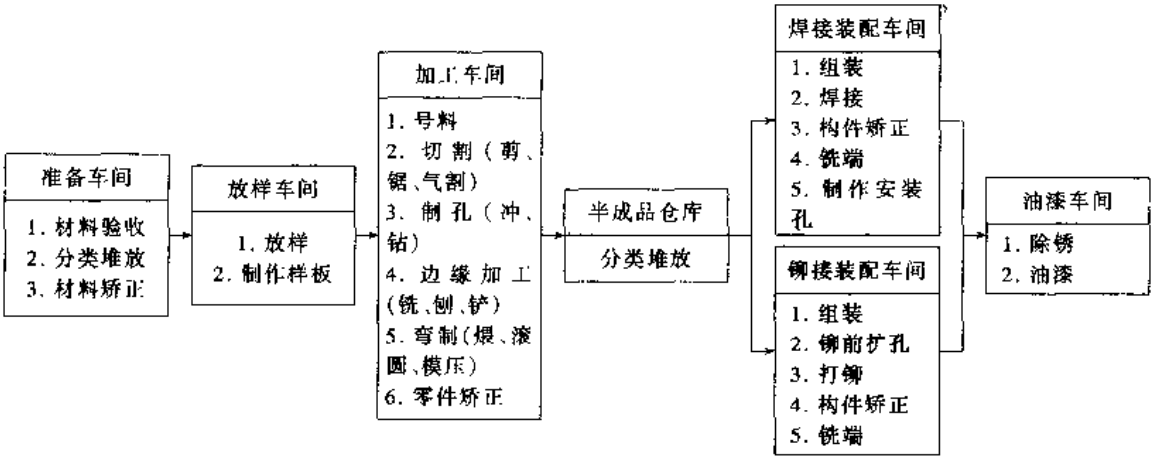


图 13-1 钢结构制作工序

13.2.2 钢材备料、矫正和构件放样

1. 结构所需的钢材一般应按 10%的余量提出备料计划。构件和杆件的拼接接头布置应照顾到订货钢材的标准长度；必要时，可根据使用长度，合理地定尺进料，以减少不必要的拼接和损耗。

2. 若备料规格不能完全满足设计要求，选用代用钢材时应按下列原则进行：

(1) 代用钢材的化学成分和机械性能应与原设计的一致。

(2) 采用代用钢材时，应详细复核构件的强度、稳定性和刚度，注意因材料代用可能产生的偏心影响；同时，还应在可能范围内做到经济合理。

(3) 对于因钢材代用而引起构件间连接尺寸和施工图等的变动，均应予修改。

3. 从轧钢厂运到金属结构制造厂的钢材，常因长途运输、装卸等而产生较大的变形，给加工造成困难，影响制造的精度；加工前必须进行矫正，使之平直。图 13-2 是钢板矫正辊床的工作简图，图 13-3 是槽钢或工字钢用水平直弯机矫正的工作简图。

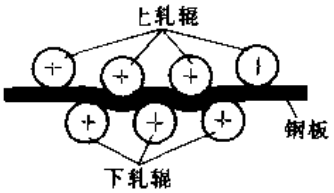


图 13-2 钢板矫正辊床工作简图

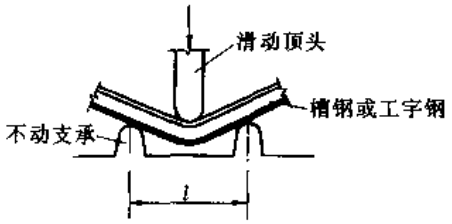


图 13-3 水平直弯机工作简图

4. 构件的放样工作是按施工图上的图形和尺寸绘出 1:1 的大样，并制作样板和样杆，以作为下料、弯制、刨铣和制孔等加工的依据。样板用质轻、价廉且不易产生伸缩变形的材料做成，最常用的有铁皮、纸板和油毡，也可用薄木板或胶合板。放样和号料时，应根据工艺要求预放焊接收缩余量及切割、刨边和铣平等加工余量。号料余量通常可按下列规定采用：对接焊缝沿焊缝长度方向每米留 0.7mm；对接焊缝垂直于焊缝方向每个对口留 1mm；格构式结构的角焊缝按每米留 0.5mm 计；加工余量按工艺要求定，一般可留 3～5mm。

5. 对跨度较大的桁架等构件，应按规定起拱。屋架宜上下弦同时起拱，三角形屋架可仅下弦起拱。起拱后，竖杆方向仍应垂直于地面，不与下弦杆垂直。施工图纸中应注明起拱量或按起拱后的尺寸绘制施工图。

13.2.3 零件加工

钢材的切割有剪切、锯切和气割三种方法。

1. 剪切 用剪切机切割钢材是最方便的切割方法。图 13-4 是钢板剪切机的工作简图。厚度≤12mm 的钢板用压力剪床剪切，厚钢板须用强大的龙门剪切机剪切。角钢等小号型钢可在型钢剪切机上用特殊的刀刃切割。

钢材经剪切后在离剪切边缘 2～3mm 范围内将产生严重的冷作硬化，使这部分钢材脆性增大。因此，对于厚度较大且直接承受动力荷载作用的重要结构，剪切后应将这部分硬化的钢材刨去。

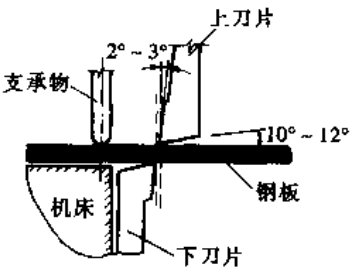


图 13-4 钢板剪切机工作简图

2. 锯切 对工字钢、槽钢、钢管和大号角钢可用机械锯锯切、锯片有带齿圆盘锯和无齿摩擦圆盘锯两种。近年来较发达的国家普遍采用带齿圆盘冷锯机锯切钢材；这种冷锯机用高压空气冷却，锯时不加润滑液，锯切的遍度较快，且锯切后的金属表面不发热，钢材不变质，是一种比较先进的加工机械。

3. 氧气切割 氧气切割的设备比较简单，生产效率高，经济性较好，可切割任何厚

度；既能切成直线也能切成曲线，还能切成V形、X形的焊接坡口。

氧气切割分手工切割、自动和半自动切割，以及精密切割。精密切割的质量好，但一般自动和半自动切割已能满足建筑结构的制造精度要求。

以下将上述三种切割方法的主要特点及适用范围列于表13-1。

型钢或钢板切割方法分类比较表　　表13-1

类别	使用设备	特点及适用范围
机械切割	剪板机，型钢剪断机	切割速度快，切口整齐，切割成本低；设备投资高，切割型材时，要根据截面形状、尺寸的不同更换剪刀；适用于制造厂
	砂轮锯，无齿锯（摩擦锯）	切割速度快，切口整齐（后者易出毛刺），切割成本低，设备投资较低，适用于不同形状、不同尺寸的型材；但噪声高、灰尘大；适于制造厂小批量生产
	锯床	切口整齐；效率低、速度慢，设备投资较低
气割	自动和半自动切割机	利用氧气或等离子流，按仿形或数控进行切割，切口整齐，速度快；成本较高，设备投资较高；适用于钢板切割
	手工切割	方法简单，操作方便，成本低；切口精度较差；适用于施工现场采用

型钢的切割面应垂直于轴线，切割线与号料线的偏差不得大于2mm；端部的斜度不得大于2度。切口有毛刺或熔渣时，应用砂轮机磨光。气割前应清除切割区表面的铁锈及污物，气割后应清除熔渣和飞溅物。

13.2.4　制孔

制孔的方法有冲孔和钻孔两种。

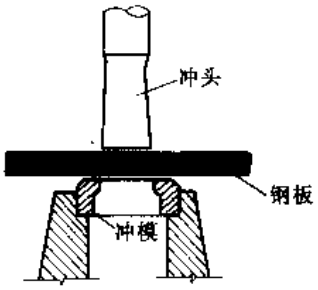


图13-5　冲孔机工作简图

1. 冲孔　冲孔是在冲孔机上进行，一般只能冲较薄的钢板，孔径的大小一般不能小于钢材的厚度，图13-5是冲孔机的工作简图。

冲孔的原理是剪切，因此在孔壁周围将产生冷作硬化，孔壁质量较差。但冲孔的生产效率较高，当对孔的质量要求不高时，可以采用。

2. 钻孔　钻孔是在钻床上进行，可以钻任何厚度的钢材。钻孔的原理是切削，孔壁损伤较小，质量较好。对于铆接结构，为使板束的孔眼一致并使孔壁光滑起见，有时先在零件中冲成或钻成较小的孔，待结构装配后，再将孔扩钻至设计孔径。对于孔群位置要求严格的构件，可先制成钻模，然后将钻模覆在零件上钻孔。为提高钻孔效率，可采用叠钻和多轴钻的钻孔方法。

3. 螺栓孔距的允许偏差如表13-2所示。

孔距的容许偏差（mm）　　表13-2

项　目	孔　距（mm）			
	≤500	501～1200	1201～3000	>3000
同一组内任意两孔间距离	±1.0	±1.5	—	—
相邻两组的端孔间距离	±1.5	±2.0	±2.5	±3.0

注：孔的分组规定为：

1. 在节点中连接板与一杆件相连的所有连接孔为一组；
2. 接头处的孔：平接头以半个拼接板上的孔为一组；
3. 两相邻节点或接头间的连接孔为一组，但不包括表中所指的孔；
4. 受弯构件翼缘上的连续孔，每1m长度范围内的孔为一组。

4.C 级螺栓孔（Ⅱ类孔），孔壁表面粗糙度 R_4 不应大于 25μm，直径 $^{+1.0}_{0.0}$，圆度 2.0，垂直度 $0.03t$，且不大于 2.0（t 为板厚）。

13.2.5 边缘加工

边缘加工有刨边、铣边和铲边三种方法。

1. 刨边 有些构件根据其受力特点常需刨边。如对接焊缝钢板边缘的坡口和刨平顶紧传力板端的刨边等。刨边在刨床上进行，对于数米长的钢板需要用大型龙门刨边机刨边。刨边是很费工的工序，生产效率低、成本高，因此非必要时应尽量避免使用。

对重级工作制 A6 吊车梁的受拉翼缘或吊车桁架的受拉弦杆边缘，当用手工切割或剪切机剪切时，应沿全长刨边。有时为使零件的端部能直接传力，也要将其端部在刨床上刨平。

2. 铣边 对有些零件的端部可采用铣平的方法代替刨边，铣边在铣边机床上进行，其光洁度比刨边的要差一些。

3. 铲边 对加工质量要求不高且工作量不大的边缘可采用铲边。铲边是用风铲操作，风铲是一种利用高压空气作为动力的风动机具。其优点是设备简单，使用方便，成本低，缺点是噪音大，劳动强度高，质量不如刨边的好。

13.2.6 钢材弯制方法

钢材的弯制有冷弯和热弯两种：

1. 冷弯 在常温下进行的弯制称为冷弯。钢板和型钢的冷弯可在专门的辊弯机上进行，图 13-6 是钢板辊弯机的工作简图，图 13-7 是角钢辊弯机的工作简图。

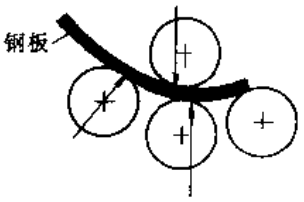


图 13-6 钢板辊弯机的工作简图

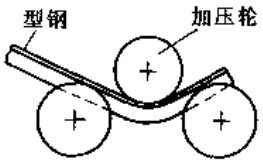


图 13-7 角钢辊弯机的工作简图

冷弯的弯曲半径不宜过小，以免钢材丧失塑性或出现裂缝，一般钢材弯曲的最小半径可参考表 13-3 所列的数值采用。

2. 热弯 在热塑状态下进行的弯制称为热弯。对厚钢板或型钢，当弯曲的角度过大或弯曲的半径较小时，一般都需要将钢材加热至 1000～1100℃，在模具上进行弯曲。热弯时应使零件缓慢而均匀地冷却，以防钢材变脆。热加工使钢结构制造工序复杂化，并使造价增高，在设计时应尽量避免。

3. 钢材矫正后的允许偏差，应符合表 13-4 的规定。

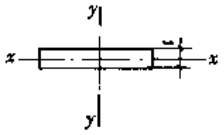
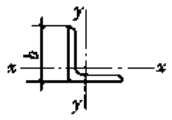
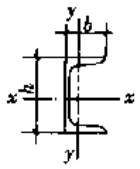
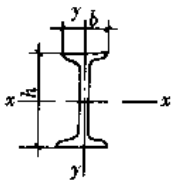
检查数量：按矫正件数抽查 10%，且不应少于 3 件。

检验方法：观察检查和实测检查。

13.2.7 构件组装

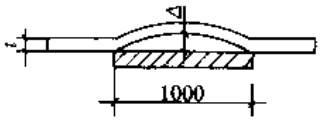
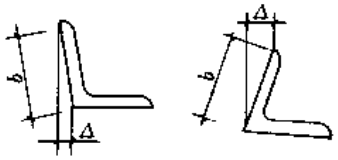
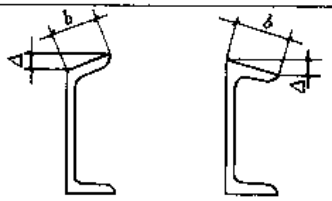
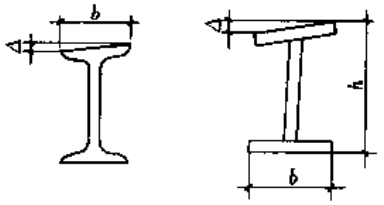
1. 组装是把加工好的零件按照施工图的要求拼装成构件。在组装前应采用刮具、钢刷、打磨机和喷砂等装置将零件上的铁锈、毛刺和油污等清除干净。

冷矫正和冷弯曲的最小曲率半径和最大弯曲矢高（mm）　　表 13-3

钢材类别	图　例	对应轴	矫　正		弯　曲	
			r	f	r	f
钢板、扁钢		$x-x$	$50t$	$\frac{l^2}{400t}$	$25t$	$\frac{l^2}{200t}$
		$y-y$（仅对扁钢轴线）	$100b$	$\frac{l^2}{800b}$	$50b$	$\frac{l^2}{400b}$
角钢		$x-x$	$90b$	$\frac{l^2}{720b}$	$45b$	$\frac{l^2}{360b}$
槽钢		$x-x$	$50h$	$\frac{l^2}{400h}$	$25h$	$\frac{l^2}{200h}$
		$y-y$	$90b$	$\frac{l^2}{720b}$	$45b$	$\frac{l^2}{360b}$
工字钢		$x-x$	$50h$	$\frac{l^2}{400h}$	$25h$	$\frac{l^2}{200h}$
		$y-y$	$50b$	$\frac{l^2}{400b}$	$25b$	$\frac{l^2}{200b}$

注：r 为曲率半径；f 为弯曲矢高；l 为弯曲弦长；t 为钢板厚度。

钢材矫正后的允许偏差（mm）　　表 13-4

项　目		允许偏差	图　例
钢板的局部平面度	$t\leqslant 14$	1.5	
	$t>14$	1.0	
型钢弯曲矢高		$l/1000$ 且不应大于 5.0	
角钢肢的垂直度		$b/100$ 双肢栓接角钢的角度不得大于 90°	
槽钢翼缘对腹板的垂直度		$b/80$	
工字钢、H 型钢翼缘对腹板的垂直度		$b/100$ 且不大于 2.0	

2. 构件组装要求

(1) 组装平台的模胎（或模架）应测平，并加以固定，以保证构件组装的精确度。

(2) 焊接结构组装时，要求用螺丝夹和卡具等夹紧固定，然后点焊。点焊部位应在焊缝部位之内，点焊焊缝的焊脚尺寸一般不宜超过设计焊缝焊脚尺寸的2/3，所用焊条应与正式焊接用的焊条相同。

(3) 对重要的安装接头和工地拼接接头，应在工厂进行试拼装。

13.2.8 构件焊接

焊接是钢结构连接的主要方法，在钢结构制造中常用的焊接方法如表13-5所示。

钢结构制造常用的焊接方法　　表13-5

焊接方法		特点	适用范围
手工焊	交流焊机	设备简易，操作灵活，可进行各种位置的焊接	焊接一般钢结构
	直流焊机	焊接电流稳定，适用于各种焊条	焊接要求较高的钢结构
埋弧自动焊		生产效率高，焊接质量好，表面成型光滑美观，操作容易，焊接时无弧光，有害气体少	适用于焊接长度较长的对接，或角焊缝
埋弧半自动焊		与埋弧自动焊基本相同，但操作较灵活	焊接长度较短的、或弯曲的对接，或角焊缝
二氧化碳气体保护焊		利用二氧化碳或其他惰性气体保护的光焊丝焊接，生产效率高，焊接质量好，成本低，易于自动化，可进行全位置焊接	用于薄钢板的焊接

1. 焊接变形和焊接应力

为了减小或防止钢结构中产生焊接变形和焊接应力，制造时应采取下列措施：

(1) 施焊时，应选择合理的焊接顺序，如对称法、分段逆向焊法、跳焊法等，但分段逆向焊法的焊接应力较大。

在保证焊缝质量的前提下，采用适量的电流，快速施焊，以减小热影响区和温度差，减小焊接变形和焊接应力。

焊接立体构件时，应使焊缝的收缩力矩互相抵消；或由多焊工同时对称施焊，以达到减小焊接变形和焊接应力的目的。

(2) 结构组装时，小型构件可一次组装，点焊固定后用合理的焊接顺序一次完成；对大型构件可分部组装，焊后矫正，再总装成整体。

(3) 采取反变形措施，即在焊前进行组装时，先将焊件向与焊接后产生变形相反的方向进行人为的适量变形，以便达到抵消焊接变形的目的。

(4) 用刚性较大的夹具将焊件固定，以增大焊件的刚度；这对减小焊接变形很有效，且焊接时不必过多考虑焊接顺序。其缺点是焊完撤除夹具后，焊件还有少许变形，且焊接应力较大，如与反变形措施配合使用则效果更好。

减小焊接应力的措施，除在选择焊接顺序时注意它对焊接应力的影响外，还可采用预热、锤击和整体回火等方法以减小和消除焊接应力。

2. 焊接变形矫正法

焊接变形包括纵向收缩、横向收缩、角变形、弯曲变形、波浪变形和扭曲变形等。对于焊接结构，应采取各种有效措施以防止或减小变形，但当这些变形超过现行规范的规定时，必须加以矫正。在钢结构制造中常用的矫正方法有机械矫正法和火焰矫正法两种：

（1）机械矫正法就是利用机械力的作用来矫正变形，常用的工具有千斤顶、螺旋拉紧器和压力机等。

（2）火焰矫正法就是把焊接变形相对部位的金属局部加热到热塑状态，利用不均匀加热引起的变形来矫正焊接结构已经发生的变形，这种方法只需普通气焊所用的工具和设备。

3. 低温焊接措施

在低温条件下焊接时，由于焊缝金属冷却速度较快，出现裂缝的倾向增大。对于Q345、Q390和Q420钢，由于合金元素含量比低碳钢多，其淬硬倾向和出现裂缝倾向更大。因此，在低温焊接时应采取下列措施：

（1）进行构件焊接时，常采用预热措施，预热的温度宜控制在60～140℃，预热区应在焊缝所在的两侧各75～100mm范围内。

常用结构钢材最低预热温度要求　　表13-6

钢材牌号	接头最厚部件的板厚 t（mm）				
	$t<25$	$25\leqslant t\leqslant 40$	$40<t\leqslant 60$	$60<t\leqslant 80$	$t>80$
Q235	—	—	60℃	80℃	100℃
Q295、Q345	—	60℃	80℃	100℃	140℃

注：本表适应条件：

1. 接头形式为坡口对接，根部焊道，一般拘束度；
2. 热输入约为15～25kJ/cm；
3. 采用低氢型焊条，熔敷金属扩散氢含量（甘油法）：
   E4315、4316不大于8ml/100g；
   E5015、E5016、E5515、E5516不大于6ml/100g；
   E6015、E6016不大于4ml/100g；
4. 一般拘束度，指一般角焊缝和坡口焊缝的接头未施加限制收缩变形的刚性固定，也未处于结构最终封闭安装或局部返修焊接条件下而具有一定自由度；
5. 环境温度为常温；
6. 焊接接头板厚不同时，应按厚板确定预热温度；焊接接头材质不同时，按高强度、高碳当量的钢材确定预热温度

实际工程结构施焊时的预热温度，尚应满足下列规定：

1）根据焊接接头的坡口形式和实际尺寸、板厚及构件拘束条件确定预热温度。焊接坡口角度及间隙增大时，应相应提高预热温度；

2）根据熔敷金属的扩散氢含量确定预热温度。扩散氢含量高时应适当提高预热温度。当其他条件不变时，使用超低氢型焊条打底预热温度可降低25～50℃。二氧化碳气体保护焊当气体含水量符合GB50205—2001的要求或使用富氩混合气体保护焊时，其熔敷金属扩散氢可视同低氢型焊条；

3）根据焊接时热输入的大小确定预热温度。当其他条件不变时，热输入增大5kJ/cm，预热温度可降低25～50℃。电渣焊和气电立焊在环境温度为0℃以上施焊时可不进行

预热；

4）根据接头热传导条件选择预热温度。在其他条件不变时，T形接头应比对接接头的预热温度高25～50℃。但T形接头两侧角焊缝同时施焊时应按对接接头确定预热温度。

5）根据施焊环境温度确定预热温度。操作地点环境温度低于常温时（高于0℃），应提高预热温度15～25℃。

（2）应尽量减少焊缝中未焊透、咬边、夹渣、弧坑、裂纹等缺陷，这些缺陷将形成应力集中，导致在低应力下发生脆性破坏。

（3）在多数情况下，裂缝往往出现在第一道焊缝和焊根上。所以，在焊第一道焊缝时应加大电流，减慢焊速，保证根部焊透。对点固焊缝也应适当加大焊脚尺寸和焊缝长度，以免发生裂纹。

（4）焊件的矫正和组装应尽量避免在低温度下进行。

（5）在焊接过程中应充分保证焊缝的自由收缩，减小焊接应力，以免产生裂纹。

13.2.9 焊缝质量级别检验

焊缝质量的级别应根据结构受力情况由设计确定。它分外观检验和无损检测。

1. 外观检验

（1）所有焊缝应冷却到环境温度后进行外观检查，Ⅱ、Ⅲ类钢材的焊缝应以焊接完成24h后检查结果作为验收依据，Ⅳ类钢应以焊接完成48h后的检查结果作为验收依据。

（2）外观检查一般用目测，裂纹的检查应辅以5倍放大镜并在合适的光照条件下进行，必要时可采用磁粉探伤或渗透探伤，尺寸的测量应用量具、卡规。

（3）焊缝外观质量应符合下列规定：

1）一级焊缝不得存在未焊满、根部收缩、咬边和接头不良等缺陷，一级焊缝和二级焊缝不得存在表面气孔、夹渣、裂纹和电弧擦伤等缺陷；

2）二级焊缝的外观质量除应符合本条1）的要求外，尚应满足表13-7的有关规定；

3）三级焊缝的外观质量应符合表13-7的有关规定。

焊缝外观质量允许偏差 **表13-7**

检验项目 \ 焊缝质量等级	二级	三级
未焊满	$\leqslant 0.2+0.02t$ 且 $\leqslant 1$mm，每100mm长度焊缝内未焊满累积长度$\leqslant$25mm	$\leqslant 0.2+0.04t$ 且 $\leqslant 2$mm，每100mm长度焊缝内未焊满累积长度$\leqslant$25mm
根部收缩	$\leqslant 0.2+0.02t$ 且 $\leqslant 1$mm，长度不限	$\leqslant 0.2+0.04t$ 且 $\leqslant 2$mm，长度不限
咬边	$\leqslant 0.05t$ 且 $\leqslant 0.5$mm，连续长度$\leqslant$100mm，且焊缝两侧咬边总长$\leqslant$10%焊缝全长	$\leqslant 0.1t$ 且 $\leqslant 1$mm，长度不限
裂纹	不允许	允许存在长度$\leqslant$5mm的弧坑裂纹
电弧擦伤	不允许	允许存在个别电弧擦伤
接头不良	缺口深度$\leqslant 0.05t$ 且 $\leqslant 0.5$mm，每1000mm长度焊缝内不得超过1处	缺口深度$\leqslant 0.1t$ 且 $\leqslant 1$mm，每1000mm长度焊缝内不得超过1处
表面气孔	不允许	每50mm长度焊缝内允许存在直径$<0.4t$ 且$\leqslant$3mm的气孔2个；孔距应$\geqslant$6倍孔径
表面夹渣	不允许	深$\leqslant 0.2t$，长$\leqslant 0.5t$ 且$\leqslant$20mm

(5) 栓钉焊焊后应进行打弯检查。合格标准：当焊钉打弯至30°时，焊缝和热影响区不得有肉眼可见的裂纹，检查数量应不小于焊钉总数的1%。

(6) 电渣焊、气电立焊接头的焊缝外观成形应光滑，不得有未熔合、裂纹等缺陷；当板厚小于30mm时，压痕、咬边深度不得大于0.5mm；板厚大于或等于30mm时，压痕、咬边深度不得大于1.0mm。

2. 无损检测

(1) 无损检测应在外观检查合格后进行。

(2) 焊缝无损检测报告签发人员必须持有相应探伤方法的Ⅱ级或Ⅱ级以上资格证书。

(3) 设计要求全焊透的焊缝，其内部缺陷的检验应符合下列要求：

1) 一级焊缝应进行100%的检验，其合格等级应为现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法及质量分级法》(GB 11345) B级检验的Ⅱ级及Ⅱ级以上；

2) 二级焊缝应进行抽检，抽检比例应不小于20%，其合格等级应为现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法及质量分级法》(GB 11345) B级检验的Ⅲ级及Ⅲ级以上；

3) 全焊透的三级焊缝可不进行无损检测。

13.2.10 构件铣端和钻安装孔

1. 构件铣端

对受力较大的柱，在设备许可的条件下，宜进行端部铣平、使力由承压面直接传至底板，以减少连接焊缝的焊脚尺寸。铣端应在专门的铣床上进行。气割或机械剪切的零件，需要进行边缘加工时，其刨削量不应小于2.0mm。

边缘加工允许偏差应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001中的规定。

检查数量：按加工面数抽查10%，且不应少于3件。

观察检查和实测检查。

2. 钻安装孔

在焊接构件上钻安装孔一般是在构件焊好后进行，以保证它有较高的准确度。制作安装孔有两种方法：一种是在构件的相应零件上先冲成或钻成比设计孔径小3mm的孔，待构件出厂前进行整体结构的预总装时，再扩钻至设计孔径；另一种是用钻模在各构件上钻安装孔，免去预总装工序，但钻模的制作比较费工，只在定型化构件或大批量构件的安装时才采用。

13.2.11 结构件制造容许偏差

钢结构制造的容许偏差应按表13-10的数偏采用。

13.2.12 结构制作的空间要求

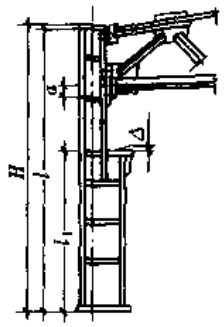
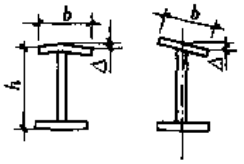
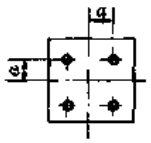
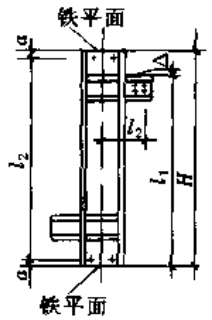
1. 手工焊接的构造

手工焊接操作时，焊接结构的某些极限构造尺寸见表13-11。

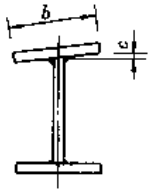
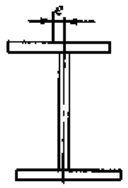
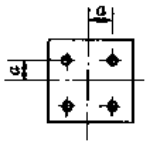
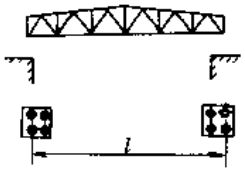
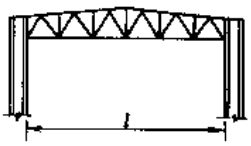
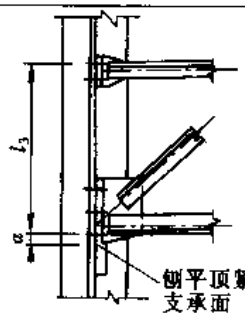
2. 机械焊接的构造

用埋弧自动焊接机焊接船状位置的角焊缝时，构件的某些极限构造尺寸应极据焊机的类型确定。

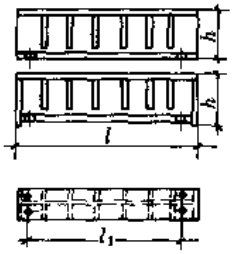
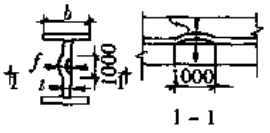
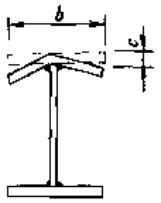
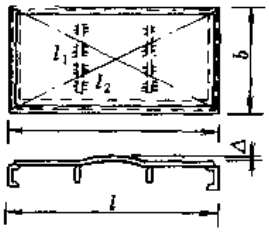
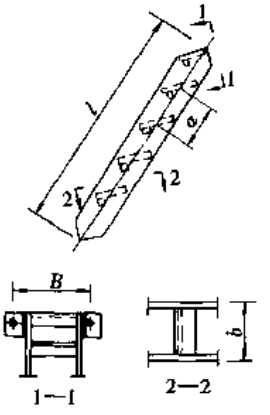
钢结构制造的容许偏差（mm）　　表 13-10

构件种类	偏差名称	容许偏差值	简图
单层钢柱	柱底面到柱端与桁架连接最上一个安装孔间距离 l 的偏差	$\pm l/1500$ ± 15.0	
	柱底面到牛腿支承面间距离 l_1 的偏差	$\pm l_1/2000$ ± 8.0	
	两端外侧安装孔距离 l_2	± 2.0	
	受力支托板表面到第一个安装孔间距离 a 的偏差	± 1.0	
	牛腿面的翘曲 Δ	2.0	
	柱身挠曲矢高	$H/1200$，但不大于 12	
	柱身扭曲 在牛腿处 在其他处	 3.0 8.0	
	柱截面几何尺寸的偏差 在连接处 在其他处	 ± 3.0 ± 4.0	
	柱翼缘板倾斜度 c 在连接处　其他处	1.5 $b/100$ 但不大于 5.0	
	柱脚底板平面度	5.0	
	柱脚螺栓孔对柱轴线间距离 a	± 3.0	
多层多节钢柱	一节柱高度 H 的偏差 多节柱全长 ΣH 的总偏差	± 3.0 ± 7.0	
	柱底刨平面到牛腿支承面间距离 l_1 的偏差	± 2.0	
	柱身挠曲矢高	$l/1500$，但不大于 5.0	
	牛腿的翘曲或扭曲 Δ 当 $l_2 \leq 1000$ 当 $l_2 > 1000$	 2.0 3.0	
	柱截面（任一处）几何尺寸的偏差 连接处 非连接处	 ± 3.0 ± 4.0	

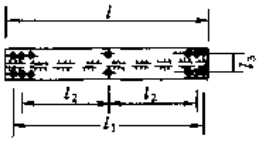
续表

构件种类	偏差名称	容许偏差值	简图
多层多节钢柱	柱翼缘板倾斜度 c 在接合部位 其他部位	1.5 $b/100$ <5.0	
	柱腹板中心线的偏差 e 在接合部位 在其他部位	2.0 3.0	
	柱脚底板平面度	5.0	
	柱脚螺栓孔到底板中心轴线间距离 a 的偏差	3.0	
	每节柱的柱身扭曲	$h/250$ $\leqslant 5.0$	
屋架、屋架梁及其他桁架	桁架最外端距离的两个孔、或两端支承面最外侧 l 距离 当 $l \leqslant 24$m 时 当 $l > 24$m 时	 $\begin{cases}+3.0\\-7.0\end{cases}$ $\begin{cases}+5.0\\-10.0\end{cases}$	
	桁架跨中高度	±10.0	
	桁架按设计要求起拱时的高度偏差 桁架不要求起拱时的高度偏差	$\pm l/5000$ +10，-5.0	
	固定檩条或其他构件的孔中心距离 l_1、l_2 的偏差 对 l_1 对 l_2	 ±3.0 ±1.5	
	在支点处，固定桁架上下弦杆的安装孔间距离 l_3 的偏差	±2.0	
	支承面到第一个安装孔间距离 a	±1.0	
	相邻节间弦杆弯曲（受压除外）	1/1000	
	檩条连接支座间距	±5.0	

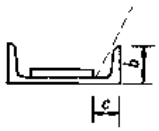
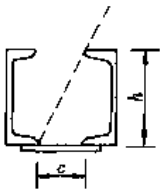
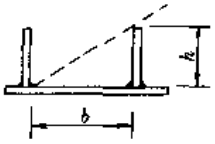
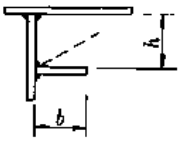
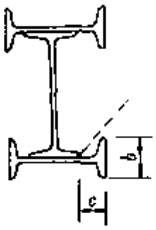
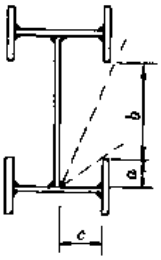
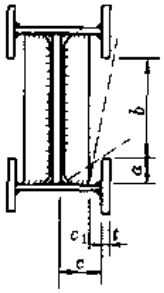
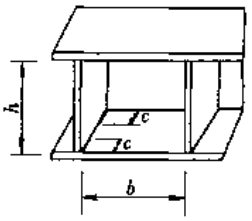
续表

构件种类	偏差名称	容许偏差值	简图
焊接实腹梁	梁跨度 l 的偏差 端部有突缘支座板 其他形式	0 -5.0 $\pm l/2500$，但不大于 ± 10	
	梁端部高度 h 当 $h \leqslant 2m$ 时 当 $h > 2m$ 时	 ± 2.0 ± 3.0	
	梁两端最外侧安装孔间距离 l_1 的偏差	± 3.0	
	梁起拱度的偏差 设计要求起拱 设计未要求起拱	 $\pm l/5000$ 10.0 -5.0	
	梁侧弯矢高 v_1	$l_1/2000$，但不大于 10	
	梁扭曲	$h/250$（h 为梁高）且不应大于 10	
	梁腹板局部平面度 当 $t < 14$ 时 当 $t \geqslant 14$ 时	 5.0 4.0	
	翼缘板对腹板的垂直度	$\frac{b}{100}$，且不应大于 3.0	
	吊车梁上翼缘与轨道接触面平面度	1.0	
钢平台	平台长度 l 和宽度 b	± 5.0	
	平台对角线长度 $\lvert l_1 - l_2 \rvert$	6.0	
	平台表面平面度（在 1m 范围内）	6.0	
钢梯	梯梁长度 l	± 5.0	
	钢梯宽度 b	± 5.0	
	钢梯安装孔距离 B	± 3.0	
	钢梯纵向挠曲矢高	$L/1000$	
	钢梯踏步间距 a	± 5.0	
	钢梯踏步板不平直度	$\frac{b}{100}$（或 B）	

续表

构件种类	偏差名称	容许偏差值	简图
墙架、连接系统构件	构件两端最外侧安装孔间距离 l_1	±3.0	
	构件两组安装孔间距离 l_2、l_3 的偏差	±3.0	
	构件弯曲矢高	$l/1000$，但不大于 10	

手工焊接时焊接构件的某些极限构造尺寸（mm） 表 13-11

 $c \geqslant 0.7b$	 $c \geqslant 0.7h$	 当 $b \leqslant 400$ 时，$h \leqslant 0.6b$；当 $b > 400$ 时，h 不受限制	 当 $h \geqslant 250$ 时，有可能焊
 $c \geqslant 0.3b$	 $c \geqslant 1.5a$ $c \geqslant 0.5b$	 1. 当焊接加劲肋时，$c \geqslant a$； 2. 焊不到的区段 $c_1 = \frac{at}{b} + 10$	

b	h	c
> 400	250 ~ 400	≤800
	< 250	$= h$
≤400	≥250	$= 0.63b$
	< 250	$= \frac{bh}{400}$

注：焊条长度按 450mm 考虑。

3. 铆接的构造

铆接操作要求的最小尺寸按下列情况采用：

（1）角钢一肢上有铆钉（图 13-8）时，铆钉孔中心距角钢肢背的距离 a 应满足下式要求：

$$a \geqslant t + r + \frac{D_0}{2} \tag{13-1}$$

式中 t——角钢肢的厚度；

r——角钢肢的内圆弧半径；

D_0——窝头直径，半圆头铆钉的窝头近似直径可按表 13-12 采用。

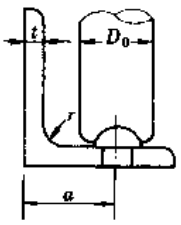


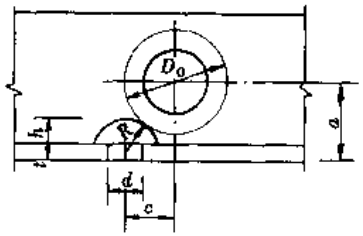
图 13-8 角钢一肢上有铆钉的操作尺寸

（2）角钢两肢上有铆钉时，铆钉孔中心的最小间距 c 可按表 13-13 采用。

半圆头铆钉采用窝头的直径(mm) 表 13-12

铆钉杆直径 d	12	14	16	18	20	22	24	27
窝头近似直径 D_0	45	45	45	45	50	50	55	60

角钢两肢上有铆钉时，铆钉孔中心的最小间距



$$C_{min}=\sqrt{\left(\frac{D_0}{2}+R\right)^2-(a-t+R-h)^2}$$

表 13-13

铆钉尺寸（mm） / t（mm） \ a（mm）	$d=16$ $h=10$ $D_0=45$						$d=18$ $h=12.5$ $R=16.5$ $D_0=45$						$d=20$ $h=14$ $R=18$ $D_0=50$						$d=22$ $h=15.5$ $R=20$ $D_0=50$						$d=24$ $h=17$ $R=22$ $D_0=55$					
	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	40	45	50	55	60	65	40	45	50	55	60	65	45	50	55	60	65	70
6	16	—	—	—	—	—	21	9	—	—	—	—	21	—	—	—	—	—	24	12	—	—	—	—	23	8	—	—	—	—
8	20	7	—	—	—	—	24	15	—	—	—	—	24	13	—	—	—	—	27	18	—	—	—	—	27	16	—	—	—	—
10	23	14	—	—	—	—	27	20	—	—	—	—	27	19	—	—	—	—	29	22	7	—	—	—	30	21	—	—	—	—
12	26	18	—	—	—	—	29	23	13	—	—	—	29	22	10	—	—	—	32	25	15	—	—	—	32	25	13	—	—	—
14	28	22	11	—	—	—	30	25	18	—	—	—	31	25	16	—	—	—	34	28	20	—	—	—	34	28	19	—	—	—
16	30	24	16	—	—	—	32	28	21	9	—	—	33	28	21	—	—	—	35	31	24	12	—	—	36	31	23	8	—	—
18	31	27	20	7	—	—	33	30	24	15	—	—	35	30	24	13	—	—	37	33	27	18	—	—	38	33	27	16	—	—
20	32	29	23	14	—	—	35	31	27	20	—	—	36	32	27	19	—	—	38	34	29	22	7	—	40	36	30	21	—	—
24	35	32	28	22	11	—	36	34	30	25	18	—	39	35	31	25	16	—	41	38	34	28	20	—	43	39	34	28	19	—

4. 安装普通螺栓时，扳手要求的净空极限尺寸见表 13-14。

安装普通螺栓时，扳手要求的净空极限尺寸（mm）

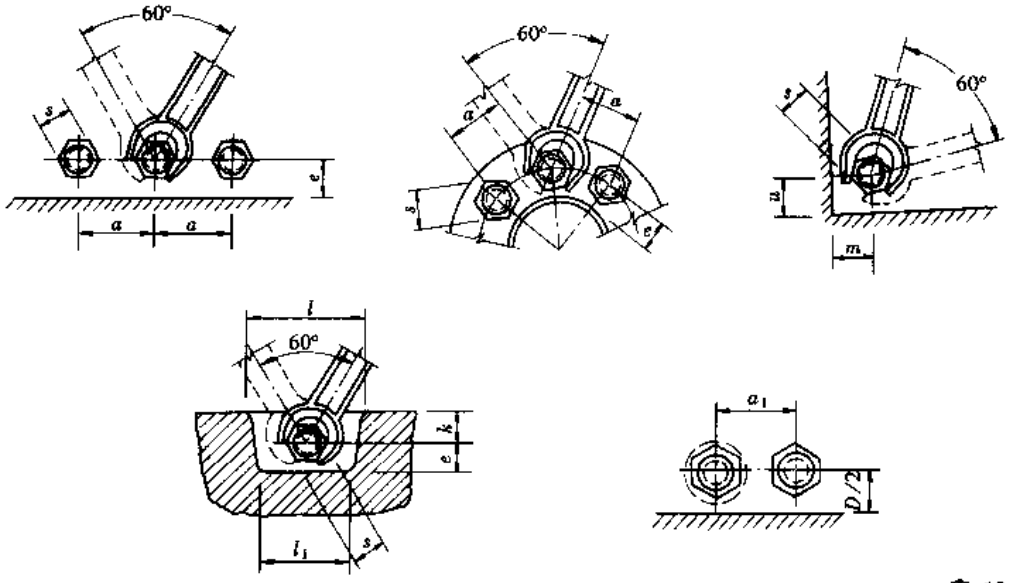


表 13-14

螺栓直径 d	扳手口 s	a	$e=k$	m	u	l	l_1	D	a_1
10	17	34	14	20	18	60	45	32	26
12	19	38	16	22	20	68	50	36	30
14	22	45	18	25	22	76	55	40	32
16	24	48	18	28	25	80	60	45	36
18	27	52	20	32	28	90	65	48	40
20	30	58	22	34	30	100	75	52	45
22	32	62	25	36	32	110	85	56	48
24	36	68	25	40	35	120	95	62	52
27	41	80	30	45	38	140	105	68	58
30	46	90	32	50	42	150	115	75	65
36	55	105	40	60	48	180	140	92	78
42	65	125	45	70	55	210	165		
48	75	145	50	80	60	240	190		
56	80	165	60	90	75	280	215		
64	90	185	65	105	80	300	230		
76	105	215	75	115	90	350	270		
90	125	250	90	145	115	420	325		
100	140	285	100	160	125	470	360		

13.3 钢结构的运输和安装

13.3.1 构件运输的限界尺寸

1. 结构构件的最大轮廓尺寸应不超过铁路或公路运输许可的限界尺寸。构件的重量

应根据起重及运输设备所能承担的能力确定。在一般情况下，构件的重量不宜超过15t，最大构件的重量也不宜超过40t。

2. 构件需要利用铁路运输时，其外形尺寸应不超过GB 146.1—1983中规定的限界尺寸。其中在全国标准铁路运输的构件，装载的限界尺寸应不超过机车车辆的限界，如图13-9（*a*）所示；按GB146.2—1983建筑限界标准建造利用铁路运输的构件，最大级超限货物装载的限界尺寸如图13-9（*b*）所示。超限运输非但使运费增加，而且使装车和固定货物的技术复杂化，应在设计时尽量避免。

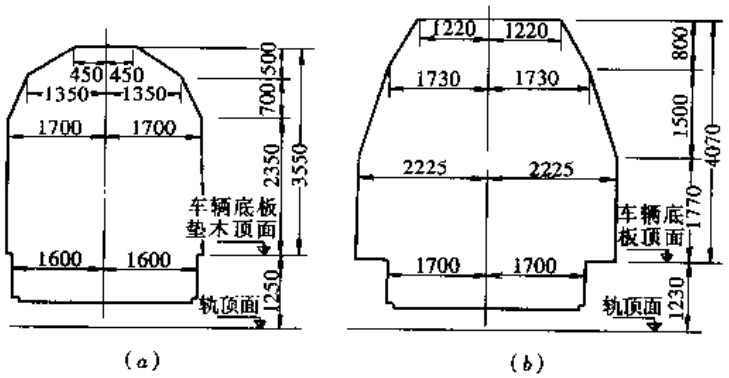


图13-9　铁路运输装载的限界尺寸

（*a*）基本货物装载限界尺寸；（*b*）最大级超限货物装载限界尺寸

3. 构件需要利用公路运输时，其外形尺寸应考虑公路沿线的路面至桥涵和隧道的净空尺寸，在一般情况下，此净空尺寸为：

对超级公路，一、二级公路　　5.0m；

对三、四级公路　　4.5m。

13.3.2　钢结构安装应注意的问题及安装的容许偏差

1. 安装钢结构时，应注意下列问题：

（1）结构安装前应对构件进行全面检查，如构件的数量、长度、垂直度、安装接头处螺栓孔之间的尺寸等是否符合设计要求；对制造中遗留下的缺陷及运输中产生的变形，应在地面预先矫正，妥善解决。

（2）钢柱与基础一般都采用柱脚锚栓连接，故在安装钢柱前应检查柱脚螺栓之间的尺寸、露出基础顶面的尺寸、基础顶面的标高是否符合设计要求，以及柱脚锚栓的螺纹是否有损坏等（一般在基础施工时就应采取措施，以保护柱脚锚栓及其螺纹不被碰坏）。

（3）结构吊装时，应采取适当措施，防止产生过大的弯扭变形，同时应将绳扣与构件的接触部位加垫块垫好，以防刻伤构件。

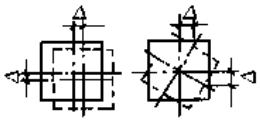
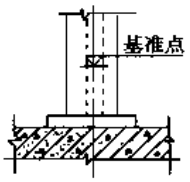
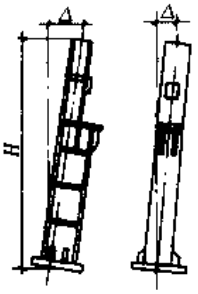
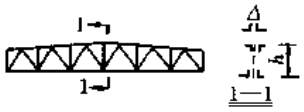
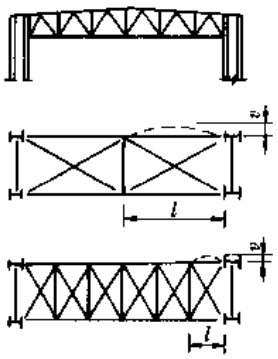
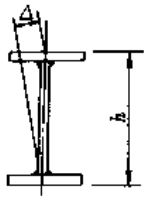
（4）结构吊装就位后，应及时系牢支撑及其他连系构件，以保证结构的稳定性。

（5）所有上部结构的吊装，必须在下部结构就位、校正并系牢支撑构件以后才能进行。

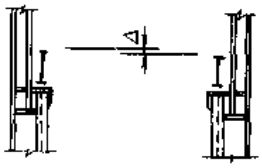
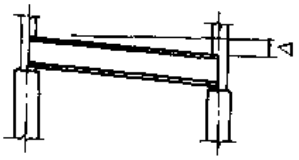
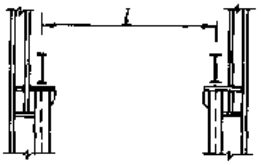
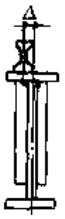
（6）根据工地安装机械的起重能力，在地面上组装成较大的安装单元，以减少高空作业的工作量。

2. 钢结构安装的容许偏差应按表13-15数值采用。

钢结构安装的容许偏差（mm） 表 3-15

构件种类	偏差名称	容许偏差值	简图
钢柱	柱脚底座中心线对定位轴线的偏移	5.0	
	柱基准点标高 有吊车梁的柱 无吊车梁的柱	 $\begin{cases}+3.0\\-5.0\end{cases}$ $\begin{cases}+5.0\\-8.0\end{cases}$	
	挠曲矢高	$H/1200$，但不大于 15.0	
	柱轴线在顶部截面的偏差 Δ 单层柱 当 $H \leqslant 10$m 时 当 $H > 10$m 时 多节柱 单节柱 柱全高	 $H/1000$ $H/1000$，但不大于 25.0 $H/1000$，但不大于 10.0 35.0	
钢屋架、屋架梁及无窗架	钢屋架、屋架梁在跨中顶点对两端支座中心竖向平面的偏差 Δ	$h/250$，但不大于 15.0	
	受压弦杆或翼缘的直线段对通过屋架或屋架梁的平面弯曲矢高 v	$l/1000$，但不大于 10.0	
吊车梁和轨道	梁的跨中垂直度 Δ	$h/500$	

续表

构件种类	偏差名称		容许偏差值	简　图
吊车梁和轨道	同跨间同一横截面内，吊车梁顶面的标高差 Δ 在支座处 在其他处		10.0 15.0	
	同列相邻两柱间 Δ 吊车梁顶面高差		$l/1500$，但不大于 10.0	
	同跨间任一截面的吊车梁中心跨距 l		± 10.0	
	相邻两吊车梁接头部位 Δ	中心错位	3.0	
		上承式顶面高差	1.0	
		下承式底面高差	1.0	
	轨道中心对吊车梁腹板轴线的偏差 Δ		$t/2$ （t 为吊车梁腹板厚）	
	轨道轴线对直线的偏差		3.0	

13.4　防 锈 与 防 火

13.4.1　钢结构的防锈与涂装

1. 钢结构的防锈及涂装设计应遵守《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 500046 与《钢结构管道涂装技术规程》YB/T 9256 的有关规定，凡钢结构工程设计中，均应有防锈涂装设计的内容。

2. 钢结构防锈及涂装设计应综合考虑结构的重要性、环境侵蚀条件、维护条件及使用寿命，以及施工条件与工程造价等因素，合理的选用或确定钢材表面原始锈蚀等级、除锈方法与等级（《涂装前钢材表面锈蚀等级和涂装等级》GB 8923）、涂料与涂装要求以及

涂装施工的质量检验要求（《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001）等。

3. 本节各条款中所述环境侵蚀作用的类别划分，见表 13-16。

4. 构件所用钢材表面原始锈蚀等级的应用范围应符合以下要求：

（1）在弱侵蚀及中等侵蚀性环境中的构件，不应采用表面原始锈蚀等级低于 B 级的钢材。

（2）重要的承重结构及使用中很难维护的承重结构，不应采用表面原始锈蚀等级低于 B 级的钢材。

（3）不论何种构件，均不得采用表面原始锈蚀等级为 D 级的钢材。

钢结构环境侵蚀作用的分类 **表 13-16**

序号	地区	相对湿度（%）	对结构的侵蚀作用分类		
			室内（采暖房屋）	室内（非采暖房屋）	露天
1	农村、一般城市的商业区及住宅区	干燥，<60	无侵蚀性	无侵蚀性	弱侵蚀性
2		普通，60～75	无侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
3		潮湿，>75	弱侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
4	工业区、沿海地区	干燥，<60	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
5		普通，60～75	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
6		潮湿，>75	中等侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性

注：1. 表中的相对湿度系指当地的年平均相对湿度，对于恒温恒湿或有相对湿度指标的建筑物，则按室内相对湿度采用。

2. 一般城市的商业区及住宅区泛指无侵蚀性介质的地区，工业区则包括受侵蚀性介质影响及散发轻微侵蚀性介质的地区。

5. 各类构件的物理除锈方法与等级可按表 13-17 选用。

各类构件的物理除锈方法与等级 **表 13-17**

构件种类	除锈方法	除锈等级
无侵蚀作用一般构件	手工及动力工具除锈	St2（彻底）级或 St3 级（非常彻底）
弱侵蚀作用的承重构件	喷射（丸、砂）除锈	Sa2（彻底）级或 Sa2 $\frac{1}{2}$ 级（非常彻底）
中等侵蚀作用的承重构件	喷射（丸、砂）除锈	Sa2 $\frac{1}{2}$ 级（非常彻底）

注：1. 对使用期内很难维修的承重构件，其除锈等级宜适当提高（最高不超过 Sa2 $\frac{1}{2}$ 级）。

2. 除锈前后应仔细消除油垢、毛刺、药皮、飞溅物及氧化铁皮等。

3. 除锈及涂装工程的质量验收应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 的规定。

6. 在中等侵蚀作用环境中的承重钢构件，当其形状较复杂或体型较特殊时，亦可采用酸洗除锈方法。酸洗应有专门的工艺控制保证（不宜用盐酸），应附加缓蚀剂，并清洗到位，确保角、凹部位不致积酸，引起材质氢脆变异。

7. 经除锈后的钢材表面在检查合格后，应在要求的时限内进行涂装。其防锈涂料的选用，应符合以下规定：

（1）防锈涂层一般应由底漆、中间漆及面漆组成，选择涂料时应考虑漆与除锈等级的匹配，以及底漆与面漆的匹配组合。钢结构工程中所用防锈底漆、中间漆与面漆的配套组

合可参见表 13-18。

钢结构用底漆、中间漆与面漆的配套组合　　表 13-18

序号	底漆与中间漆	面　漆	最低除锈等级	适用环境构件
1	红丹系列（油性防锈漆、醇酸或酚醛防锈漆）底漆 2 遍 铁红系列（油性防锈漆、醇酸底漆、酚醛防锈漆）底漆 2 遍 云铁醇酸防锈漆底漆 2 遍	各色醇酸磁漆 2～3 遍	St2	无侵蚀作用构件
2	氯化橡胶底漆 1 遍	氯化橡胶面漆 2～4 遍	Sa2	1. 室内、外弱侵蚀作用的重要构件； 2. 中等侵蚀环境的各类承重结构
3	氯磺化聚乙烯底漆 2 遍 + 氯磺化聚乙烯中间漆 1～2 遍	氯磺化聚乙烯面漆 2～3 遍		
4	铁红环氧酯底漆 1 遍 + 环氧防腐漆 2～3 遍	环氧清（彩）漆 1～2 遍		
5	铁红环氧底漆 1 遍 + 环氧云铁中间漆 1～2 遍	氯化橡胶漆 2 遍		
6	聚氨酯底漆 1 遍 + 聚氨酯磁漆 2～3 遍	聚氨酯清漆 1～3 遍		
7	环氧富锌底漆 1 遍 + 环氧云铁中间漆 2 遍	氯化橡胶面漆 2 遍		
8	无机富锌底漆 1 遍 + 环氧云铁中间漆 1 遍	氯化橡胶面漆 2 遍	Sa2 $\frac{1}{2}$	需特别加强防锈蚀的重要结构
9	无机富锌底漆 2 遍 + 环氧中间漆 2～3 遍（75～100μm）+（75～125μm）	脂肪族聚氨酯面漆 2 遍（50μm）		

注：1. 第 4 项匹配组合（环氧清漆面漆）不适用于室外曝晒环境。

2. 当要求较厚的涂层厚度（总厚度 > 150μm）时，第 2、5 及 6 项组合的中间漆或面漆宜采用厚浆型涂料。

3. 第 8、9 项无机富锌底漆要求除锈等级及施工条件更为严格，一般较少采用。

（2）对一般涂装要求的构件，并采用手工及动力工具除锈时，可采用两道底漆、两道面漆的做法。对涂装要求较高的构件，并采用喷射除锈时，宜采用 2 遍底漆，1～2 遍中间漆及 2 遍面漆的做法。漆膜总厚度不宜小于 120μm（弱侵蚀）及 150μm（中等侵蚀）、200μm（较强侵蚀的重要构件）。需加重防腐的部位，可适当增加涂层厚度 20～60μm。

（3）对涂层的耐磨、耐久和抗渗性能有较高要求时，宜选用玻璃鳞片面漆的配套涂料，如环氧富锌底漆（1 遍）+ 环氧玻璃鳞片涂料（1～2 遍）+ 环氧清漆（1～2 遍）的配套组合，或环氧富锌底漆（1 遍）+ 聚氨酯玻璃鳞片涂料（1～2 遍）+ 聚氨酯清漆（1 遍）的配套组合。

（4）新建钢结构工程一般不采用带锈涂料（有化学除锈作用）作防腐涂料。

（5）需作防火涂层的钢材表面，可除锈后只作底漆涂层。当要求底漆为耐高温漆（400℃）时，宜选用有机硅富锌底漆或溶剂型无机富锌底漆。

8. 在较强侵蚀环境中的重要承重构件，或表面需特别加强防护防锈的重要承重构件，当有技术经济合理依据时，也可采用钢材表面热喷涂锌（铝或锌、铝复合）涂层，并外加封闭涂料的长效复合涂层的防护做法。其工艺应符合《热喷涂锌及试验方法》GB 9793—9794、《热喷涂铝及试验方法》GB 9795—9796 的要求。热喷涂层总厚度可为 120～150μm，其面层封闭涂料可按环境条件分别选用乙烯树脂类、聚氨酯类、氧化橡胶或环氧树脂

涂料。

9. 在室外腐蚀性环境中的承重钢结构，亦可采用耐候钢，其应用条件及钢材性能要求等可参见有关规定。采用耐候钢时其表面仍应按上述规定进行除锈及涂装。

10. 受侵蚀环境影响而需防锈防护的钢结构构件，其设计与构造应遵守以下注意事项：

（1）中等侵蚀环境中的承重结构，不宜采用拉杆式悬索式结构、格构式结构及薄壁型钢构件。应尽量选用表面积与重量比较小的管形封闭截面，以及较规则、简单，便于涂装、维修的实腹式（工字形、T形）截面。

（2）由角钢组合的承重桁架，其弦杆、端斜杆等重要构件及节点板的厚度不应小于8mm，其他杆件厚度不应小于6mm。由钢板组合的杆件厚度不应小于6mm，闭口截面的板件厚度不应小于4mm。

（3）主梁、柱及桁架等重要构件的传力焊缝，应采用连续焊缝。角焊缝的焊脚尺寸不应小于8mm及所焊板件的厚度（当板件厚度小于8mm时）。在室外或室内湿度较大的侵蚀环境中，构件的螺栓连接处，应增设防水垫圈、防水帽或以防水油膏封闭连接处缝隙。

（4）钢结构节点及连接构造应避免易于积灰和积湿的角、槽，连接零件之间应有可供检查与维修的空间（净空不宜小于120mm）。

（5）钢柱脚埋入地下部分，应以C10级混凝土包覆（厚度不小于50mm），并包出地面120～150mm。所埋入部分表面应做除锈处理，但不做涂料涂装，当地下有侵蚀作用时柱脚不应埋入地下。

（6）钢构件直接与铝金属制品等接触，会引起接触腐蚀时，应在构件接触表面涂1～2遍铬酸锌底漆及配套面漆阻隔，或设置镀锌层、绝缘层隔离。其相互间的连接紧固件应采用热镀锌的紧固件。

（7）钢结构所在室内环境的湿度不宜过高，一般宜控制使长期环境湿度≤75%。当为高湿作业环境时，应采取有效的通风排湿措施。

11. 冷弯薄壁型钢构件应按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》的要求更严格地防锈与涂装措施，并遵守本节各条款及以下注意事项：

（1）中等侵蚀环境中的承重构件不宜采用壁厚 $t \leqslant 3$mm（封闭截面）或 $t \leqslant 5$mm（非封闭截面）的厚度。

（2）薄壁型钢构件所用钢材表面的原始锈蚀等级不应低于B级。当壁厚 $t \leqslant 4$mm时，其表面除锈宜采用钢丝刷清除浮锈的方法。

（3）对除锈防护要求较高时，冷弯型钢檩条等构件，可采用热浸镀锌薄板直接加工成型（一般不外加其他涂层）。其镀锌板的材质要求及镀锌量要求等见第17.1.3条。当镀锌面层外尚需再加防护涂层时，应按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018附录选用锌黄类底漆及配套面漆。

12. 压型钢板的防腐设计应遵守有关规定及以下注意事项：

（1）非临时工程用压型钢板均应采用热浸镀锌板作基板。

（2）镀锌压型钢板可用于无侵蚀或弱侵蚀环境，其镀锌量分别不小于220kg/m^2（双面）及275kg/m^2（双面）；带彩涂层的镀锌压型钢板可用于无侵蚀、弱侵蚀与中等侵蚀环境，其镀锌量应分别不小于180kg/m^2、220kg/m^{2}及275kg/m^2（均为双面）。

(3) 用于屋面压型钢板的钢基板厚度不应小于0.6mm，用于墙面的钢基板厚度不应小于0.5mm。

(4) 压型钢板配套使用的钢质连接件及固定支架必须进行镀锌防护。

兹将常用的防锈底漆、面漆和防腐蚀漆的性能、用途、涂施方法等要求列于表13-19～13-21。

常用防锈底漆　　表13-19

名称	性能	用途	涂施方法	配套要求
红丹油性防锈漆	防锈性能好，漆膜坚固，附着力强，但干燥较慢	适用于钢结构表面防锈打底，但不能用于铝、锌的表面，因红丹与铝、锌起电化学作用	刷涂为主	与酯胶磁漆、酚醛磁漆、醇酸磁漆配套使用
铁红油性防锈漆	附着力强，防锈性较好，但次于红丹油性防锈漆	适用于防锈要求不高的钢结构表面防锈打底	刷涂为主	与酯胶磁漆、酚醛磁漆配套使用
红丹酚醛防锈漆	防锈性能好，漆膜坚固，附着力强，干燥较快	同红丹油性防锈漆	刷涂为主	与酚醛磁漆、醇酸磁漆配套使用
铁红酚醛防锈漆	附着力强、漆膜较软，耐磨性差，防锈性能次于红丹酚醛防锈漆	适用于防锈要求不甚高的钢结构表面防锈打底	刷涂或喷涂	与酚醛磁漆配套使用
铁红、灰酚醛底漆	漆膜有良好的附着力和一定的防锈性能	适用于防锈要求不甚高的钢结构表面防锈打底	刷涂或喷涂	与醇酸磁漆、纯酚醛磁漆配套使用
铁红纯酚醛底漆	有一定的防锈性能，耐水性好	适用于防锈要求不甚高的钢结构表面防锈打底	刷涂或喷涂	与醇酸磁漆、纯酚醛磁漆配套使用
各色锶钡酚醛防锈漆	具有良好的抗大气锈蚀性能，干燥快，施工方便。逐步代替一部分红丹防锈漆使用，节约铅，无毒	适用于钢结构表面防锈打底	刷涂或喷涂	与酚醛磁漆、醇酸磁漆配套使用
铁红、灰酯胶底漆	漆膜坚硬，易打磨，并有良好的附着力	适用于防锈要求不甚高的钢结构表面打底	刷涂或喷涂	与调和漆、酚醛磁漆配套使用
红丹醇酸防锈漆	防锈性能好，漆膜坚固，附着力强，干燥较快	同红丹油性防锈漆	刷涂或喷涂	与醇酸磁漆、酚醛磁漆、酯胶磁漆配套使用
铁红醇酸底漆	具有良好的附着力和一定的防锈能力，在一般气候条件下耐久性好，但在湿热带气候和潮湿条件下耐久性差一些	适用于一般钢结构表面防锈打底	刷涂或喷涂	与醇酸磁漆、硝基磁漆、沥青漆、过氯乙烯漆等配套使用

续表

名称	性能	用途	涂施方法	配套要求
乙烯磷化底漆	对钢材表面附着力极强，漆料中的磷酸盐可使钢材表面形成磷化膜，延长有机涂层的寿命	适用于钢结构表面防锈打底，可省去磷化或钝化处理，但不能代替一般底漆，不适用于碱性介质的环境中	刷涂或喷涂	其他防锈漆、底漆和面漆配套使用
铁红过氯乙烯底漆	有一定的防锈性及耐化学性，但对钢材的附着力不太好，若与磷化底漆配套使用，能耐海洋性及湿热带气候	适用于沿海地区和湿热条件下的钢结构表面防锈打底	喷涂或刷涂	与磷化底漆和过氯乙烯防腐漆配套使用
铁红环氧酯底漆	漆膜坚硬耐久，附着力良好，若与磷化底漆配套使用时，可提高漆膜的耐潮、耐盐务和防锈性能	适用于沿海地区和湿热带气候的钢结构表面打底	喷涂或刷涂	与磷化底漆和环氧磁漆、环氧防腐漆配套使用
云母氧化铁底漆	具有良好的热稳定性、耐碱性，防锈性能超过红丹和硼钡防锈漆，无毒，而且价廉和原料来源丰富	适用于热带气候和湿热条件下的钢结构表面防锈打底	刷涂或喷涂	与各类面漆配套使用
无机富锌底漆	具有较好的耐水性、耐油性、耐溶剂性、耐热性及耐干湿交替的盐雾的性能，有阴极保护作用，长期曝晒不老化	适用于水塔、水槽、油罐及海洋钢构筑物表面防锈打底	刷涂或喷涂	可兼作面漆，如与环氧磁漆、乙烯磁漆配套使用，效果更好

常用面漆 表 13-20

名称	性能	用途	涂施方法	配套要求
各色油性调和漆	耐候性较酯胶调和漆好，但干燥时间较长，漆膜较软	适用作室内一般钢结构的面漆	刷涂为主	
各色酯胶调和漆	干燥性能比油性调和漆好，漆膜较硬，有一定的耐水性	适用作一般钢结构的面漆	刷涂或喷涂	
各色酚醛磁漆	漆膜坚硬、光泽、附着力较好，但耐候性差	适用作室内一般钢结构的面漆	刷涂或喷漆	与酯胶底漆、红丹防锈漆、灰防锈漆和铁红防锈漆配套使用
各色纯酚醛磁漆	漆膜坚硬，耐水性、耐候性较好	适用作防潮和干湿交替的钢结构面漆	刷涂或喷涂	与各种防锈漆、酚醛底漆配套使用
各色醇酸磁漆	具有良好的耐候性和较好的附着力，但干燥较慢	适用作钢结构的面漆	刷涂或喷涂	先涂 1～2 道 C06-1 铁红醇酸底漆，再涂 C06-10 醇酸二道底漆，最后涂该漆
灰酚醛防锈漆	耐候性较好，有一定的防水性和防锈性能	适用作钢结构的面漆	刷涂或喷涂	与红丹或铁红类防锈漆配套使用

常用防腐蚀面漆　　表 13-21

名称	性　能	用　途	涂施方法	配套要求
各色过氯乙烯防腐漆	具有优良的耐腐蚀性和耐潮性。但附着力较差，如配套得好，可以弥补。若经 60～65℃烘烤 1～3 小时，其各种机械性能比硝基漆优越	适用于钢结构防酸雾介质腐蚀的面漆	喷涂或刷涂	与 X06—1 乙烯磷化底漆、C06—4 铁红过氯乙烯底漆配套使用
各色环氧硝基磁漆	耐候性良好，有较高的物理机械强度，耐油性良好	适用于湿热气候的钢结构防工业大气腐蚀的面漆	喷漆或刷涂	与环氧底漆配套使用
沥青清漆	具有良好的耐水、耐潮、耐腐蚀性能，但机械性能差，耐候性不好	适用于钢结构防酸气腐蚀的打底和作面漆	刷涂或喷漆	底漆兼作面漆，一般涂 2 道
沥青耐酸漆	具有耐硫酸腐蚀的性能，并有良好的附着力	适用于室内钢结构防腐蚀的打底和作面漆	刷涂或喷涂	底漆兼作面漆、一般涂 2 道

13.4.2　钢结构的防火设计

1. 钢结构的防火设计应符合国家《建筑设计防火规范》GBJ 16、《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045 及《石油化工企业设计防火规范》GB 50160、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 等的有关规定。建筑师应慎重并合理地确定工业建筑物的防火类别与建筑物的防火等级，必要时应与消防部门共同商定设防标准。

2. 钢结构构件的防火设计原则，是在设计所采用的防火措施条件下，能保证构件在所规定的耐火极限时间内，其承载力仍不小于各种作用产生和组合效应。建筑物等级所要求的承重构件耐火时限如表 13-22 所示。

建筑构件的耐火时限（h）　　表 13-22

规范 / 构件 / 耐火时限(h) / 耐火等级	《高层民用建筑设计防火规范》			《建筑设计防火规范》				
	柱	梁	楼板、屋顶承重构件	支承多层的柱	支承单层的柱	梁	楼板	屋顶承重构件
一　级	3.0	2.0	1.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
二　级	2.5	1.5	1.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
三　级				2.5	2.0	1.0	0.5	

注：建筑物耐火等级应由建筑师确定。

3. 民用建筑及大型公用建筑的承重钢结构宜采用防火涂料防火，一般应由建筑师与结构工程师按建筑物耐火等级及构件耐火时限，根据《钢结构防火涂料应用技术规范》CECS 24，选用涂料的类别（薄涂型或厚涂型）及构造做法，并遵守以下注意事项：

（1）喷涂防火涂料前，钢材表面应按本措施第 13.4.1 条有关规定进行除锈，并进行 1～2 遍底漆涂装，底漆成分性能不应与防火涂料产生化学反应。当防火涂料同时有防锈功

能时，可采用喷射除锈后直接喷涂防火涂料，涂料不应对钢结构有腐蚀作用。

（2）各类防火涂料的特性及适用范围见表 13-23，选用时宜优先选用薄涂型防火涂料，选用厚涂型涂料时，其外需做装饰面层隔护。装饰要求较高的部位可选用超薄型防火涂料。

防火涂料的类别及适用范围　　表 13-23

类　别	特　性	厚度（mm）	耐火时限（h）	适用范围
薄涂型防火涂料	附着力强，可以配色，一般不需外保护层	2～7	1.5	工业与民用建筑楼盖与屋盖钢结构，如 LB 型、SG-1 型、SS-1 型
超薄型防火涂料	附着力强，干燥快，可配色，有装饰效果，不需外保护层	3～5	2.0～2.5	工业与民用建筑梁、柱等钢结构，如 SB-2 型、BTCB-1 型、ST1-A 型
厚涂型防火涂料	喷涂施工，密度小，物理强度及附着力低，需装饰面层隔护	8～50	1.5～3.0	有装饰面层的民用建筑钢结构柱、梁，如 LG 型、ST-1 型、SG-2 型
露天用防火涂料	喷涂施工，有良好的耐候性	薄涂 3～10 厚涂 25～40	0.5～2.0 3.0	露天环境中的框架、构架等钢结构，如 ST1-B 型、SWH 型、SWB 型（薄涂）

（3）防火涂层的厚度，宜直接采用实际构件的耐火试验数据。当构件的截面尺寸或形状与试验标准构件不同时，应按现行《钢结构防火涂料应用技术规程》CECS 24 附录三的方法，推算所需防火涂层厚度。

（4）实际工程中选用的防火涂料必须有国家检测机构对其耐火性能认可的检测报告及生产许可证。防火涂料的施工应由专业队伍承担，并按《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 及《钢结构防火涂料应技术规程》CECS 24 检查验收。

（5）不得将饰面型防火涂料（适用于木结构）用于钢结构的防火保护。

4. 室外环境的钢结构，一般不考虑防火防护。但石化企业的室内、外钢结构应按《石油化工企业设计防火规范》的规定进行防火防护设计。当室外钢结构需防火保护时，应采用专用的露天用防火涂料，并以防锈底漆打底。当环境条件尚有防腐要求时，宜选用薄涂型露天用防火涂料，再加防锈面漆的外漆层，所用底漆与面漆均不得与防火涂料有化学反应。

5. 高层民用建筑钢结构的防火设计应除遵守本节规定外，尚应符合《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

6. 办公与居住建筑等的钢结构，当同时有防火与装饰要求时，亦可在钢材表面做除锈及涂底漆（粘贴面可不涂底漆）后，采用以防火板（如 ALC 板）等专用的、可模制定型的装饰性板材外包防火构造。其板材不同厚度与不同构造的耐火性能、时限等，均应有国家检测机构的检测认定。可供初步设计参考的防火构造耐火时限见表 13-24。

无装饰要求的工业与民用建筑钢结构，亦可根据造价、施工条件等因素，采用防火板材外包防火构造。其板材可用石膏板、石棉板、硅酸钙板、珍珠岩板等硬质防火板，其性能及耐火时限亦均应经国家检测机构检测认定。可供初步设计参考的防火构造耐火性能、时限等见表 13-24。

7. 重型工业厂房的主要承重钢结构（柱、吊车架、屋架等），其可能受到短时间炽热（气体、熔液）或大火作用的部位，宜采用砖、混凝土或硬质防火板材作隔热、防火的保护。金属构件表面长期受辐射热 150℃以上的部位，亦应采取相同隔热措施。

钢构件外包防火构造的耐火时限　　表 13-24

构件类别	序号	结构和材料性质		外包最小厚度（mm）耐火时限					
				1/2h	1h	11/2h	2h	3h	4h
钢梁（三面受火）	1	围护材料与钢翼缘面无间隙	涂有含轻集料石膏的钢板	13	13	15	20	25	
	2	围护材料与钢翼缘面无间隙	涂有含轻集料石膏的钢板，涂层外敷以 ϕ1.6@100mm 金属网						
			a. 当涂层厚度不小于 9.5mm	10	10	15			
			b. 当涂层厚度不小于 19mm	10	10	13	20		
	3	围护材料与钢翼缘面无间隙	石棉绝热板，板厚为：						
			a. 单层厚，搭接长度 6mm			19	25		
			b. 双层厚，其总厚度					38	50
	4	加气混凝土板外包（ALC 板）			25		50	75	
	5	外包混凝土	普通混凝土：						
			a. 混凝土不承重	25	25	25	25	50	75
			b. 混凝土承重	50	50	50	50	75	75
	6	外包混凝土	轻混凝土：						
			混凝土不承重	25	25	25	25	40	60
钢柱（四面受火）	1	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	涂有含轻集料石膏的钢板	13	13	15	20	25	
	2	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	涂有含轻集料石膏的钢板，涂层外敷以 ϕ1.6@100mm 金属网						
			a. 当涂层厚度不小于 9.5mm	10	10	15			
			b. 当涂层厚度不小于 19mm	10	10	13	20		
	3	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	石棉绝热板						
			a. 单层厚，搭接长度 6mm			19	25		
			b. 双层厚					38	50
	4	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	实心粘土砖，灰砂砖（不含涂层）	50	50	50	50	75	100
	5	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	膨胀矿渣或浮石砌块（不带涂层）	50	50	50	50	60	75
	6	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	蒸压加气混凝土砌块（密度为 457～1200kg/m^3）	60	60	60	60		
	7	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	轻混凝土砌块	50	50	50	50	60	75
	8	围护材料与钢柱翼缘面无间隙	加气混凝土板（ALC 板）外包		25		50	75	
	9	外包混凝土	普通混凝土：						
			a. 混凝土不承重	25	25	25	25	50	75
			b. 混凝土承重	50	50	50	50	75	75
	10	外包混凝土	轻混凝土：						
			混凝土不承重	25	25	25	25	40	60

8. 当有技术经济依据时，重要的承重构件可采用耐火钢外加防火涂料的防火做法，其防火设计及对材料性能、构造施工等方面的技术要求，可参照上海市地方标准《钢结构防火技术规程》的规定。

9. 钢结构的防火设计与构造应遵守以下注意事项：

（1）凡有防火要求的钢结构工程设计，应包括防火设计的内容，包括构件耐火时限的确定、防火涂料或板材类别、厚度、构造与计算选定，对防火材料的性能、施工、验收等

技术要求以及所依据的防火设计施工或材料规范等。

（2）应慎重并合理的确定设计项目的防火类别与建筑物防火等级，必要时应与消防部门共同商定设防标准。

（3）重要的钢柱构件采用防火涂料保护时，一般应采用厚涂型防火涂料，且节点部位宜做加厚处理。当所用防火涂料的粘接强度小于或等于0.05MPa时，涂层内应设置与钢构件相连的钢丝网。当采用防火板材外包防火时，应采用硬质防火板材，当包覆层数等于或大于12层时，各层板应分别固定，其板缝应相互错开不小于400mm。

（4）承重钢梁构件采用厚涂型防火涂料时，其重要节点部位宜加厚处理。当为下列任一种情况时，涂层内应设与钢梁相连的钢丝网。

1）受振动作用的梁；

2）涂层厚度大于或等于40mm的梁；

3）梁用防火涂料粘接强度小于或等于0.05MPa时；

4）梁腹板高度超过1.5m时。

（5）有防火要求的屋盖钢结构，宜选用实腹式截面，若采用桁架结构时，宜采用T型钢截面（或圆管方形、矩形管截面）的杆件，不宜采用双角钢组合带节点板的T形截面或双槽钢组合带节点板的工字形截面。

（6）组合楼盖中以压型钢板兼作钢筋承重并有防火要求时，应选用有自耐火性的板型（如燕尾板），其整体耐火时限应满足承重楼盖的耐火要求（并经国家检测机构检验认证），面不必再以防火涂料防护。同时，若楼盖下空间用不燃性板材封闭时，该压型板亦可不做防火处理。

（7）屋盖、楼盖钢构件的防火材料宜采用薄涂涂料或轻质防火板材，必要时应将防火材料的质量计入结构计算荷载之中。

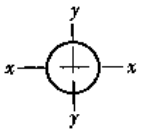
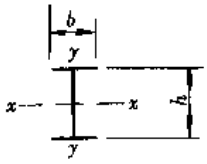
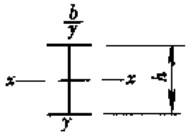
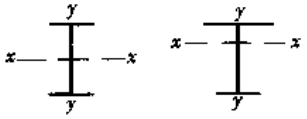
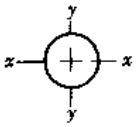
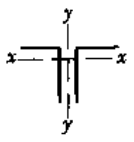
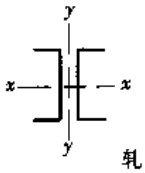
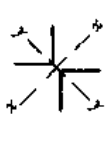
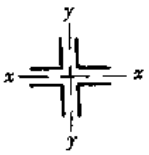
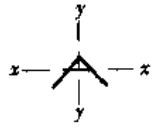
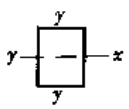
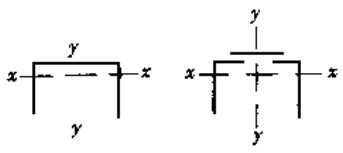
第3篇　钢结构设计计算图表

- 14　稳定系数
- 15　柱的计算长度系数
- 16　钢材的规格及截面特性
- 17　组合截面特性
- 18　紧固件的规格、尺寸及重量
- 19　构件的承载力设计值、承载力矩设计值
- 20　连接的承载力设计值
- 21　横梁的固端弯矩
- 22　单跨等截面门式刚架弯矩剪力计算公式

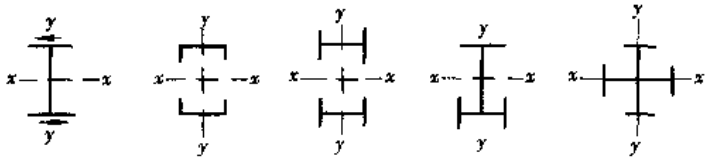
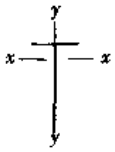
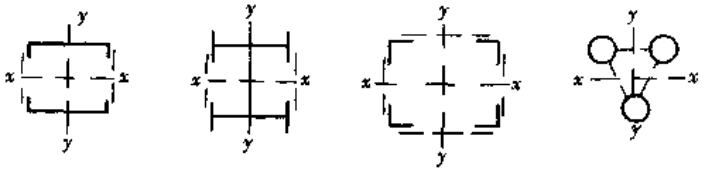
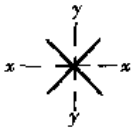
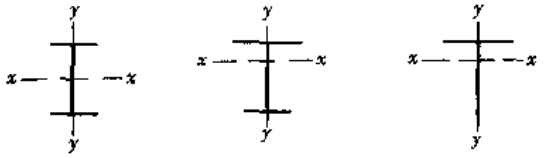
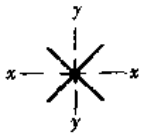
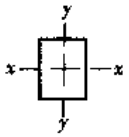
14 稳 定 系 数

(1) 轴心受压构件的截面分类

轴心受压构件的截面分类（板厚 $t<40$mm） **表 14-1a**

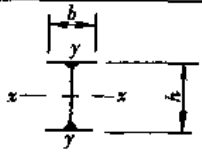
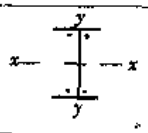
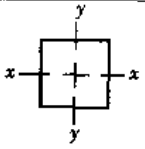
截面形式			对 x 轴	对 y 轴
		轧制	a 类	a 类
		轧制，$b/h\leqslant 0.8$	a 类	b 类
轧制，$b/h>0.8$ 	焊接、翼缘为焰切边 	焊接 	b 类	b 类
   轧制		轧制等边角钢 		
 轧制，焊接（板件宽厚比大于 20）		 轧制或焊接		

续表

截面形式		对 x 轴	对 y 轴
焊接 	轧制截面和翼缘为焰切边的焊接截面 	b 类	b 类
格构式 	焊接，板件边缘焰切 		
	焊接、翼缘为轧制或剪切边	b 类	c 类
 焊接，板件边缘轧制或剪切	 焊接，板件宽厚比≤20	c 类	c 类

注：无对称轴的截面，例如不等边单角钢对任意轴，应按 c 类截面。

轴心受压构件的截面分类（板厚 $t \geqslant 40$mm） **表 14-1b**

截面形式		对 x 轴	对 y 轴
 轧制工字形或 H 形截面	$t < 80$mm	b 类	c 类
	$t \geqslant 80$mm	c 类	d 类
 焊接工字形截面	翼缘为焰切边	b 类	b 类
	翼缘为轧制或剪切边	c 类	d 类
 焊接箱形截面	板件宽厚比 > 20	b 类	b 类
	板件宽厚比≤20	c 类	c 类

(2) 轴心受压构件的稳定系数

1) 普通钢结构轴心受压构件的稳定系数

Q235钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ 表 14-2

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.996	0.996
10	0.995	0.995	0.994	0.994	0.993	0.993	0.992	0.991	0.991	0.990	0.989	0.989	0.988	0.987	0.986	0.985	0.985	0.984	0.983	0.982
20	0.981	0.980	0.979	0.978	0.977	0.976	0.976	0.975	0.974	0.973	0.972	0.971	0.970	0.969	0.968	0.967	0.966	0.965	0.964	0.964
30	0.963	0.962	0.961	0.960	0.959	0.958	0.957	0.956	0.955	0.953	0.952	0.951	0.950	0.949	0.948	0.947	0.946	0.945	0.944	0.943
40	0.941	0.940	0.939	0.938	0.937	0.936	0.934	0.933	0.932	0.931	0.929	0.928	0.927	0.925	0.924	0.923	0.921	0.920	0.919	0.917
50	0.916	0.914	0.913	0.911	0.910	0.908	0.907	0.905	0.904	0.902	0.900	0.899	0.897	0.895	0.894	0.892	0.890	0.888	0.886	0.885
60	0.883	0.881	0.879	0.877	0.875	0.873	0.871	0.869	0.867	0.865	0.863	0.860	0.858	0.856	0.854	0.851	0.849	0.847	0.844	0.842
70	0.839	0.837	0.834	0.832	0.829	0.827	0.824	0.822	0.818	0.816	0.813	0.810	0.807	0.804	0.801	0.798	0.795	0.792	0.789	0.786
80	0.783	0.780	0.776	0.773	0.770	0.767	0.763	0.760	0.757	0.753	0.750	0.746	0.743	0.739	0.736	0.732	0.728	0.725	0.721	0.717
90	0.714	0.710	0.706	0.703	0.699	0.695	0.691	0.687	0.684	0.680	0.676	0.672	0.668	0.665	0.661	0.657	0.653	0.649	0.645	0.642
100	0.638	0.634	0.630	0.626	0.622	0.619	0.615	0.611	0.607	0.603	0.600	0.596	0.592	0.538	0.585	0.581	0.577	0.574	0.570	0.566
110	0.563	0.559	0.555	0.552	0.548	0.545	0.541	0.538	0.534	0.531	0.527	0.524	0.520	0.517	0.514	0.510	0.507	0.504	0.500	0.497
120	0.494	0.491	0.488	0.484	0.481	0.479	0.475	0.472	0.469	0.466	0.463	0.460	0.457	0.454	0.451	0.448	0.445	0.442	0.440	0.437
130	0.434	0.431	0.429	0.426	0.423	0.420	0.418	0.415	0.412	0.410	0.407	0.405	0.402	0.400	0.397	0.395	0.392	0.390	0.387	0.385
140	0.383	0.380	0.378	0.376	0.373	0.371	0.369	0.367	0.364	0.362	0.360	0.358	0.356	0.353	0.351	0.349	0.347	0.345	0.343	0.341
150	0.339	0.337	0.335	0.333	0.331	0.329	0.327	0.325	0.323	0.321	0.320	0.318	0.316	0.314	0.312	0.311	0.309	0.307	0.305	0.304
160	0.302	0.300	0.298	0.297	0.295	0.293	0.292	0.290	0.289	0.287	0.285	0.284	0.282	0.281	0.279	0.278	0.276	0.275	0.273	0.272
170	0.270	0.269	0.267	0.266	0.264	0.263	0.262	0.260	0.259	0.257	0.256	0.255	0.253	0.252	0.251	0.249	0.248	0.247	0.246	0.244
180	0.243	0.242	0.241	0.239	0.238	0.237	0.236	0.234	0.233	0.232	0.231	0.230	0.229	0.227	0.226	0.225	0.224	0.223	0.222	0.221
190	0.220	0.219	0.218	0.216	0.215	0.214	0.213	0.212	0.211	0.210	0.209	0.208	0.207	0.206	0.205	0.204	0.203	0.202	0.201	0.200
200	0.199	0.198	0.198	0.197	0.196	0.195	0.194	0.193	0.192	0.191	0.190	0.189	0.189	0.188	0.187	0.186	0.185	0.184	0.183	0.183
210	0.182	0.181	0.180	0.179	0.179	0.178	0.177	0.176	0.175	0.175	0.174	0.173	0.172	0.172	0.171	0.170	0.169	0.169	0.168	0.167
220	0.166	0.166	0.165	0.164	0.164	0.163	0.162	0.161	0.161	0.160	0.159	0.159	0.158	0.157	0.157	0.156	0.155	0.155	0.154	0.154
230	0.153	0.152	0.152	0.151	0.150	0.150	0.149	0.149	0.148	0.147	0.147	0.146	0.146	0.145	0.144	0.144	0.143	0.143	0.142	0.141
240	0.141	0.140	0.140	0.139	0.139	0.138	0.138	0.137	0.136	0.136	0.135	0.135	0.134	0.134	0.133	0.133	0.132	0.132	0.131	0.131
250	0.130																			

Q235 钢　*b* 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ　　表 14-3

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.996	0.995	0.995	0.994	0.993
10	0.992	0.992	0.991	0.990	0.989	0.988	0.987	0.986	0.985	0.984	0.983	0.982	0.981	0.980	0.978	0.977	0.976	0.974	0.973	0.971
20	0.970	0.968	0.967	0.965	0.963	0.962	0.960	0.958	0.957	0.955	0.953	0.952	0.950	0.948	0.946	0.945	0.943	0.941	0.939	0.938
30	0.936	0.934	0.932	0.931	0.929	0.927	0.925	0.923	0.922	0.920	0.918	0.916	0.914	0.912	0.910	0.908	0.906	0.905	0.903	0.901
40	0.899	0.897	0.895	0.893	0.891	0.889	0.887	0.885	0.882	0.880	0.878	0.876	0.874	0.872	0.870	0.867	0.865	0.863	0.861	0.859
50	0.856	0.854	0.852	0.849	0.847	0.845	0.842	0.840	0.838	0.835	0.833	0.830	0.828	0.825	0.823	0.820	0.818	0.815	0.813	0.810
60	0.807	0.805	0.802	0.799	0.797	0.794	0.791	0.788	0.786	0.783	0.780	0.777	0.774	0.771	0.769	0.766	0.763	0.760	0.757	0.754
70	0.751	0.748	0.745	0.742	0.739	0.736	0.732	0.729	0.726	0.723	0.720	0.717	0.714	0.710	0.707	0.704	0.701	0.698	0.694	0.691
80	0.688	0.684	0.681	0.678	0.675	0.671	0.668	0.665	0.661	0.658	0.655	0.651	0.648	0.645	0.641	0.638	0.635	0.631	0.628	0.624
90	0.621	0.618	0.614	0.611	0.608	0.604	0.601	0.598	0.594	0.591	0.588	0.584	0.581	0.578	0.575	0.571	0.568	0.565	0.561	0.558
100	0.555	0.552	0.549	0.545	0.542	0.539	0.536	0.533	0.529	0.526	0.523	0.520	0.517	0.514	0.511	0.508	0.505	0.502	0.499	0.496
110	0.493	0.490	0.487	0.484	0.481	0.478	0.475	0.472	0.470	0.467	0.464	0.461	0.458	0.456	0.453	0.450	0.447	0.445	0.442	0.439
120	0.437	0.434	0.432	0.429	0.426	0.424	0.421	0.419	0.416	0.414	0.411	0.409	0.406	0.404	0.402	0.399	0.397	0.394	0.392	0.390
130	0.387	0.385	0.383	0.381	0.378	0.376	0.374	0.372	0.370	0.367	0.365	0.363	0.361	0.359	0.357	0.355	0.353	0.351	0.349	0.347
140	0.345	0.343	0.341	0.339	0.337	0.335	0.333	0.331	0.329	0.327	0.326	0.324	0.322	0.320	0.318	0.317	0.315	0.313	0.311	0.310
150	0.308	0.306	0.304	0.303	0.301	0.299	0.298	0.296	0.295	0.293	0.291	0.290	0.288	0.287	0.285	0.283	0.282	0.280	0.279	0.277
160	0.276	0.275	0.273	0.272	0.270	0.269	0.267	0.266	0.265	0.263	0.262	0.260	0.259	0.258	0.256	0.255	0.254	0.252	0.251	0.250
170	0.249	0.247	0.246	0.245	0.244	0.242	0.241	0.240	0.239	0.237	0.236	0.235	0.234	0.233	0.232	0.230	0.229	0.228	0.227	0.226
180	0.225	0.224	0.223	0.222	0.220	0.219	0.218	0.217	0.216	0.215	0.214	0.213	0.212	0.211	0.210	0.209	0.208	0.207	0.206	0.205
190	0.204	0.203	0.202	0.201	0.200	0.199	0.198	0.198	0.197	0.196	0.195	0.194	0.193	0.192	0.191	0.190	0.190	0.189	0.188	0.187
200	0.186	0.185	0.184	0.184	0.183	0.182	0.181	0.180	0.180	0.179	0.178	0.177	0.176	0.176	0.175	0.174	0.173	0.173	0.172	0.171
210	0.170	0.170	0.169	0.168	0.167	0.167	0.166	0.165	0.165	0.164	0.163	0.162	0.162	0.161	0.160	0.160	0.159	0.158	0.158	0.157
220	0.156	0.156	0.155	0.154	0.154	0.153	0.153	0.152	0.151	0.151	0.150	0.149	0.149	0.148	0.148	0.147	0.146	0.146	0.145	0.145
230	0.144	0.144	0.143	0.142	0.142	0.141	0.141	0.140	0.140	0.139	0.138	0.138	0.137	0.137	0.136	0.136	0.135	0.135	0.134	0.134
240	0.133	0.133	0.132	0.132	0.131	0.131	0.130	0.130	0.129	0.129	0.128	0.128	0.127	0.127	0.126	0.126	0.125	0.125	0.124	0.124
250	0.123																			

Q235钢 c类截面轴心受压构件的稳定系数φ

表 14-4

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.996	0.995	0.995	0.994	0.993	0.992
10	0.992	0.991	0.990	0.989	0.988	0.987	0.986	0.985	0.983	0.982	0.981	0.980	0.978	0.977	0.976	0.974	0.973	0.971	0.970	0.968
20	0.966	0.963	0.959	0.956	0.953	0.950	0.947	0.943	0.940	0.937	0.934	0.931	0.928	0.925	0.921	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906
30	0.902	0.899	0.896	0.893	0.890	0.887	0.884	0.880	0.877	0.874	0.871	0.868	0.865	0.861	0.858	0.855	0.852	0.849	0.846	0.842
40	0.839	0.836	0.833	0.830	0.826	0.823	0.820	0.817	0.814	0.810	0.807	0.804	0.801	0.797	0.794	0.791	0.788	0.784	0.781	0.778
50	0.775	0.771	0.768	0.765	0.762	0.758	0.755	0.752	0.748	0.745	0.742	0.738	0.735	0.732	0.729	0.725	0.722	0.719	0.715	0.712
60	0.709	0.705	0.702	0.699	0.695	0.692	0.689	0.686	0.682	0.679	0.676	0.672	0.669	0.666	0.662	0.659	0.656	0.652	0.649	0.646
70	0.643	0.639	0.636	0.633	0.629	0.626	0.623	0.620	0.616	0.613	0.610	0.607	0.604	0.600	0.597	0.594	0.591	0.588	0.584	0.581
80	0.578	0.575	0.572	0.569	0.566	0.562	0.559	0.556	0.553	0.550	0.547	0.544	0.541	0.538	0.535	0.532	0.529	0.526	0.523	0.520
90	0.517	0.514	0.511	0.509	0.505	0.503	0.500	0.497	0.494	0.491	0.488	0.486	0.483	0.480	0.477	0.475	0.472	0.469	0.467	0.465
100	0.463	0.460	0.458	0.456	0.454	0.451	0.449	0.447	0.445	0.443	0.441	0.438	0.436	0.434	0.432	0.430	0.428	0.426	0.423	0.421
110	0.419	0.417	0.415	0.413	0.411	0.409	0.407	0.405	0.403	0.401	0.399	0.397	0.395	0.393	0.391	0.389	0.387	0.385	0.383	0.831
120	0.379	0.377	0.375	0.373	0.371	0.369	0.367	0.366	0.364	0.362	0.360	0.358	0.356	0.355	0.353	0.351	0.349	0.347	0.346	0.344
130	0.342	0.340	0.339	0.337	0.335	0.333	0.332	0.330	0.328	0.327	0.325	0.323	0.322	0.320	0.319	0.317	0.315	0.314	0.312	0.311
140	0.309	0.307	0.306	0.304	0.303	0.301	0.300	0.298	0.297	0.295	0.294	0.292	0.291	0.290	0.288	0.287	0.285	0.284	0.282	0.281
150	0.280	0.278	0.277	0.275	0.274	0.273	0.271	0.270	0.269	0.267	0.266	0.265	0.264	0.262	0.261	0.260	0.258	0.257	0.256	0.255
160	0.254	0.252	0.251	0.250	0.249	0.248	0.246	0.245	0.244	0.243	0.242	0.241	0.239	0.238	0.237	0.236	0.235	0.234	0.233	0.232
170	0.230	0.229	0.228	0.227	0.226	0.225	0.224	0.223	0.222	0.221	0.220	0.219	0.218	0.217	0.216	0.215	0.214	0.213	0.212	0.211
180	0.210	0.209	0.208	0.207	0.206	0.205	0.205	0.204	0.203	0.202	0.201	0.200	0.199	0.198	0.197	0.196	0.196	0.195	0.194	0.193
190	0.192	0.191	0.190	0.190	0.189	0.188	0.187	0.186	0.186	0.185	0.184	0.183	0.182	0.182	0.181	0.180	0.179	0.179	0.178	0.177
200	0.176	0.175	0.175	0.174	0.173	0.173	0.172	0.171	0.170	0.170	0.169	0.168	0.168	0.167	0.166	0.165	0.165	0.164	0.163	0.163
210	0.162	0.161	0.161	0.160	0.159	0.159	0.158	0.158	0.157	0.156	0.156	0.155	0.154	0.154	0.153	0.153	0.152	0.151	0.151	0.150
220	0.150	0.149	0.148	0.148	0.147	0.147	0.146	0.145	0.145	0.144	0.144	0.143	0.143	0.142	0.142	0.141	0.140	0.140	0.139	0.139
230	0.138	0.138	0.137	0.137	0.136	0.136	0.135	0.135	0.134	0.134	0.133	0.133	0.132	0.132	0.131	0.131	0.130	0.130	0.129	0.129
240	0.128	0.128	0.127	0.127	0.126	0.126	0.125	0.125	0.124	0.124	0.124	0.123	0.123	0.122	0.122	0.121	0.121	0.120	0.120	0.120
250	0.119																			

Q235 钢　d 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ　　表 14-5

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.987
10	0.984	0.981	0.978	0.974	0.969	0.965	0.960	0.955	0.949	0.944
20	0.937	0.927	0.918	0.909	0.900	0.891	0.883	0.874	0.865	0.857
30	0.848	0.840	0.831	0.823	0.815	0.807	0.799	0.790	0.782	0.774
40	0.766	0.759	0.751	0.743	0.735	0.728	0.720	0.712	0.705	0.697
50	0.690	0.683	0.675	0.668	0.661	0.654	0.646	0.639	0.632	0.625
60	0.618	0.612	0.605	0.598	0.591	0.585	0.578	0.572	0.565	0.559
70	0.552	0.546	0.540	0.534	0.528	0.522	0.516	0.510	0.504	0.498
80	0.493	0.487	0.481	0.476	0.470	0.465	0.460	0.454	0.449	0.444
90	0.439	0.434	0.429	0.424	0.419	0.414	0.410	0.405	0.401	0.397
100	0.394	0.390	0.387	0.383	0.380	0.376	0.373	0.370	0.366	0.363
110	0.359	0.356	0.353	0.350	0.346	0.343	0.340	0.337	0.334	0.331
120	0.328	0.325	0.322	0.319	0.316	0.313	0.310	0.307	0.304	0.301
130	0.299	0.296	0.293	0.290	0.288	0.285	0.282	0.280	0.277	0.275
140	0.272	0.270	0.267	0.265	0.262	0.260	0.258	0.255	0.253	0.251
150	0.248	0.246	0.244	0.242	0.240	0.237	0.235	0.233	0.231	0.229
160	0.227	0.225	0.223	0.221	0.219	0.217	0.215	0.213	0.212	0.210
170	0.208	0.206	0.204	0.203	0.201	0.199	0.197	0.196	0.194	0.192
180	0.191	0.189	0.188	0.186	0.184	0.183	0.181	0.180	0.178	0.177
190	0.176	0.174	0.173	0.171	0.170	0.168	0.167	0.166	0.164	0.163
200	0.162									

Q345 钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ 表 14-6

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.996	0.996	0.995	0.994	0.994
10	0.993	0.992	0.992	0.991	0.990	0.989	0.988	0.987	0.986	0.985	0.984	0.983	0.982	0.981	0.980	0.979	0.978	0.977	0.975	0.974
20	0.973	0.972	0.971	0.970	0.969	0.968	0.967	0.965	0.964	0.963	0.962	0.961	0.960	0.958	0.957	0.956	0.955	0.953	0.952	0.951
30	0.950	0.948	0.947	0.946	0.944	0.943	0.941	0.940	0.939	0.937	0.936	0.934	0.933	0.931	0.930	0.928	0.927	0.925	0.923	0.922
40	0.920	0.918	0.917	0.915	0.913	0.911	0.909	0.908	0.906	0.904	0.902	0.900	0.898	0.896	0.894	0.892	0.889	0.887	0.885	0.883
50	0.881	0.878	0.876	0.873	0.871	0.868	0.866	0.863	0.861	0.858	0.855	0.853	0.850	0.847	0.844	0.841	0.838	0.835	0.832	0.829
60	0.825	0.822	0.819	0.816	0.812	0.809	0.805	0.802	0.798	0.794	0.791	0.787	0.783	0.779	0.775	0.771	0.767	0.763	0.759	0.755
70	0.751	0.747	0.742	0.738	0.734	0.729	0.725	0.721	0.716	0.712	0.707	0.703	0.698	0.694	0.689	0.684	0.680	0.675	0.671	0.666
80	0.661	0.657	0.652	0.647	0.643	0.638	0.633	0.629	0.624	0.619	0.615	0.610	0.606	0.601	0.596	0.592	0.587	0.583	0.578	0.574
90	0.570	0.565	0.561	0.556	0.552	0.548	0.543	0.539	0.535	0.531	0.527	0.522	0.518	0.514	0.510	0.506	0.502	0.498	0.494	0.490
100	0.487	0.483	0.479	0.475	0.471	0.468	0.464	0.460	0.457	0.453	0.450	0.446	0.443	0.439	0.436	0.433	0.429	0.426	0.423	0.419
110	0.416	0.413	0.410	0.407	0.404	0.401	0.398	0.395	0.392	0.389	0.386	0.383	0.380	0.377	0.374	0.372	0.369	0.366	0.363	0.361
120	0.358	0.356	0.353	0.350	0.348	0.345	0.343	0.340	0.338	0.336	0.333	0.331	0.328	0.326	0.324	0.322	0.319	0.317	0.315	0.313
130	0.310	0.308	0.306	0.304	0.302	0.300	0.298	0.296	0.294	0.292	0.290	0.288	0.286	0.284	0.282	0.280	0.278	0.277	0.275	0.273
140	0.271	0.269	0.268	0.266	0.264	0.263	0.261	0.259	0.257	0.256	0.254	0.253	0.251	0.249	0.248	0.246	0.245	0.243	0.242	0.240
150	0.239	0.237	0.236	0.234	0.233	0.231	0.230	0.229	0.227	0.226	0.224	0.223	0.222	0.220	0.219	0.218	0.217	0.215	0.214	0.213
160	0.212	0.210	0.209	0.208	0.207	0.205	0.204	0.203	0.202	0.201	0.200	0.198	0.197	0.196	0.195	0.194	0.193	0.192	0.191	0.190
170	0.189	0.188	0.187	0.186	0.184	0.183	0.182	0.181	0.180	0.179	0.179	0.178	0.177	0.176	0.175	0.174	0.173	0.172	0.171	0.170
180	0.169	0.168	0.167	0.167	0.166	0.165	0.164	0.163	0.162	0.161	0.161	0.160	0.159	0.158	0.157	0.157	0.156	0.155	0.154	0.153
190	0.153	0.152	0.151	0.150	0.150	0.149	0.148	0.147	0.147	0.146	0.145	0.145	0.144	0.143	0.142	0.142	0.141	0.140	0.140	0.139
200	0.138	0.138	0.137	0.136	0.136	0.135	0.134	0.134	0.133	0.133	0.132	0.131	0.131	0.130	0.129	0.129	0.128	0.128	0.127	0.126
210	0.126	0.125	0.125	0.124	0.124	0.123	0.123	0.122	0.121	0.121	0.120	0.120	0.119	0.119	0.118	0.118	0.117	0.117	0.116	0.116
220	0.115	0.115	0.114	0.114	0.113	0.113	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110	0.109	0.109	0.108	0.108	0.107	0.107	0.106	0.106
230	0.106	0.105	0.105	0.104	0.104	0.103	0.103	0.103	0.102	0.102	0.101	0.101	0.100	0.100	0.0996	0.0992	0.0988	0.0984	0.0980	0.0976
240	0.0972	0.0968	0.0964	0.0961	0.0957	0.0953	0.0949	0.0945	0.0942	0.0938	0.0934	0.0930	0.0927	0.0923	0.0919	0.0916	0.0912	0.0909	0.0905	0.0902
250	0.0898																			

Q345 钢　*b* 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ　　表 14-7

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.995	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.990
10	0.989	0.988	0.987	0.985	0.984	0.983	0.981	0.980	0.978	0.977	0.975	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.964	0.962	0.960	0.958
20	0.956	0.954	0.952	0.950	0.948	0.946	0.943	0.941	0.939	0.937	0.935	0.933	0.931	0.928	0.926	0.924	0.922	0.920	0.917	0.915
30	0.913	0.910	0.908	0.906	0.903	0.901	0.899	0.896	0.894	0.891	0.889	0.887	0.884	0.882	0.879	0.876	0.874	0.871	0.869	0.866
40	0.863	0.861	0.858	0.855	0.852	0.849	0.847	0.844	0.841	0.838	0.835	0.832	0.829	0.826	0.823	0.820	0.817	0.814	0.811	0.807
50	0.804	0.801	0.798	0.794	0.791	0.788	0.784	0.781	0.778	0.777	0.771	0.767	0.764	0.760	0.756	0.753	0.749	0.745	0.742	0.738
60	0.734	0.731	0.727	0.723	0.719	0.715	0.711	0.708	0.704	0.700	0.696	0.692	0.688	0.684	0.680	0.676	0.672	0.668	0.664	0.660
70	0.656	0.652	0.648	0.644	0.640	0.636	0.632	0.627	0.623	0.619	0.615	0.611	0.607	0.603	0.599	0.595	0.591	0.587	0.583	0.579
80	0.575	0.571	0.567	0.563	0.559	0.555	0.551	0.547	0.544	0.540	0.536	0.532	0.528	0.524	0.521	0.517	0.513	0.509	0.506	0.502
90	0.499	0.495	0.491	0.488	0.484	0.481	0.477	0.474	0.470	0.467	0.463	0.460	0.457	0.453	0.450	0.447	0.443	0.440	0.437	0.434
100	0.431	0.428	0.424	0.421	0.418	0.415	0.412	0.409	0.406	0.403	0.400	0.398	0.395	0.392	0.389	0.386	0.384	0.381	0.378	0.375
110	0.373	0.370	0.367	0.365	0.362	0.360	0.357	0.355	0.352	0.350	0.347	0.345	0.343	0.340	0.338	0.335	0.333	0.331	0.329	0.326
120	0.324	0.322	0.320	0.318	0.315	0.313	0.311	0.309	0.307	0.305	0.303	0.301	0.299	0.297	0.295	0.293	0.291	0.289	0.287	0.285
130	0.283	0.282	0.280	0.278	0.276	0.274	0.273	0.271	0.269	0.267	0.266	0.264	0.262	0.261	0.259	0.257	0.256	0.254	0.253	0.251
140	0.249	0.248	0.246	0.245	0.243	0.242	0.240	0.239	0.237	0.236	0.235	0.233	0.232	0.230	0.229	0.228	0.226	0.225	0.224	0.222
150	0.221	0.220	0.218	0.217	0.216	0.215	0.213	0.212	0.211	0.210	0.208	0.207	0.206	0.205	0.204	0.203	0.201	0.200	0.199	0.198
160	0.197	0.196	0.195	0.194	0.193	0.191	0.190	0.189	0.188	0.187	0.186	0.185	0.184	0.183	0.182	0.181	0.180	0.179	0.178	0.177
170	0.176	0.175	0.175	0.174	0.173	0.172	0.171	0.170	0.169	0.168	0.167	0.166	0.166	0.165	0.164	0.163	0.162	0.161	0.161	0.160
180	0.159	0.158	0.157	0.157	0.156	0.155	0.154	0.153	0.153	0.152	0.151	0.150	0.150	0.149	0.148	0.147	0.147	0.146	0.145	0.145
190	0.144	0.143	0.142	0.142	0.141	0.140	0.140	0.139	0.138	0.138	0.137	0.136	0.136	0.135	0.135	0.134	0.133	0.133	0.132	0.131
200	0.131	0.130	0.130	0.129	0.128	0.128	0.127	0.127	0.126	0.125	0.125	0.124	0.124	0.123	0.123	0.122	0.122	0.121	0.120	0.120
210	0.119	0.119	0.118	0.118	0.117	0.117	0.116	0.116	0.115	0.115	0.114	0.114	0.113	0.113	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110
220	0.109	0.109	0.108	0.108	0.108	0.107	0.107	0.106	0.106	0.105	0.105	0.104	0.104	0.104	0.103	0.103	0.102	0.102	0.101	0.101
230	0.101	0.100	0.0998	0.0994	0.0990	0.0986	0.0982	0.0978	0.0974	0.0970	0.0966	0.0962	0.0959	0.0955	0.0951	0.0947	0.0943	0.0940	0.0936	0.0932
240	0.0929	0.0925	0.0921	0.0918	0.0914	0.0911	0.0907	0.0903	0.0900	0.0890	0.0893	0.0890	0.0886	0.0883	0.0879	0.0876	0.0873	0.0869	0.0866	0.0863
250	0.0859																			

Q345钢 c类截面轴心受压构件的稳定系数φ 表 I4-8

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.996	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.990	0.989
10	0.988	0.986	0.985	0.984	0.982	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.962	0.958	0.954	0.950	0.946	0.943
20	0.939	0.935	0.931	0.927	0.924	0.920	0.916	0.912	0.908	0.904	0.901	0.897	0.893	0.889	0.885	0.882	0.878	0.874	0.870	0.866
30	0.862	0.859	0.855	0.851	0.847	0.843	0.839	0.835	0.832	0.828	0.824	0.820	0.816	0.812	0.808	0.804	0.800	0.796	0.792	0.789
40	0.785	0.781	0.777	0.773	0.769	0.765	0.761	0.757	0.753	0.749	0.745	0.741	0.737	0.733	0.729	0.725	0.721	0.717	0.713	0.709
50	0.705	0.701	0.697	0.693	0.689	0.685	0.681	0.677	0.673	0.669	0.665	0.661	0.657	0.653	0.649	0.645	0.641	0.637	0.633	0.629
60	0.625	0.621	0.617	0.613	0.609	0.605	0.601	0.598	0.594	0.590	0.586	0.582	0.578	0.574	0.571	0.567	0.563	0.559	0.556	0.552
70	0.548	0.545	0.541	0.537	0.533	0.530	0.526	0.523	0.519	0.516	0.512	0.508	0.505	0.502	0.498	0.495	0.491	0.488	0.484	0.481
80	0.478	0.474	0.471	0.468	0.465	0.463	0.460	0.457	0.455	0.452	0.449	0.447	0.444	0.441	0.439	0.436	0.434	0.431	0.428	0.426
90	0.423	0.421	0.418	0.416	0.413	0.411	0.408	0.406	0.403	0.401	0.398	0.396	0.393	0.391	0.389	0.386	0.384	0.381	0.379	0.377
100	0.374	0.372	0.370	0.368	0.365	0.363	0.361	0.359	0.356	0.354	0.352	0.350	0.348	0.345	0.343	0.341	0.339	0.337	0.335	0.333
110	0.331	0.329	0.327	0.325	0.323	0.321	0.319	0.317	0.315	0.313	0.311	0.309	0.307	0.305	0.304	0.302	0.300	0.298	0.296	0.294
120	0.293	0.291	0.289	0.287	0.286	0.284	0.282	0.281	0.279	0.277	0.276	0.274	0.272	0.271	0.269	0.268	0.266	0.264	0.263	0.261
130	0.260	0.258	0.257	0.255	0.254	0.252	0.251	0.249	0.248	0.246	0.245	0.244	0.242	0.241	0.239	0.238	0.237	0.235	0.234	0.233
140	0.231	0.230	0.229	0.227	0.226	0.225	0.224	0.222	0.221	0.220	0.219	0.217	0.216	0.215	0.214	0.213	0.211	0.210	0.209	0.208
150	0.207	0.206	0.205	0.203	0.202	0.201	0.200	0.199	0.198	0.197	0.196	0.195	0.194	0.193	0.192	0.191	0.190	0.189	0.188	0.187
160	0.186	0.185	0.184	0.183	0.182	0.181	0.180	0.179	0.178	0.177	0.176	0.175	0.175	0.174	0.173	0.172	0.171	0.170	0.169	0.168
170	0.168	0.167	0.166	0.165	0.164	0.163	0.163	0.162	0.161	0.160	0.159	0.159	0.158	0.157	0.156	0.156	0.155	0.154	0.153	0.153
180	0.152	0.151	0.150	0.150	0.149	0.148	0.147	0.147	0.146	0.145	0.145	0.144	0.143	0.143	0.142	0.141	0.141	0.140	0.139	0.139
190	0.138	0.137	0.137	0.136	0.136	0.135	0.134	0.134	0.133	0.132	0.132	0.131	0.131	0.130	0.129	0.129	0.128	0.128	0.127	0.127
200	0.126	0.125	0.125	0.124	0.124	0.123	0.123	0.122	0.122	0.121	0.121	0.120	0.120	0.119	0.118	0.118	0.117	0.117	0.116	0.116
210	0.115	0.115	0.114	0.114	0.113	0.113	0.113	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110	0.109	0.109	0.108	0.108	0.107	0.107	0.107
220	0.106	0.106	0.105	0.105	0.104	0.104	0.104	0.103	0.103	0.102	0.102	0.101	0.101	0.101	0.100	0.0998	0.0994	0.0990	0.0986	0.0982
230	0.0979	0.0975	0.0971	0.0967	0.0963	0.0959	0.0956	0.0952	0.0948	0.0944	0.0941	0.0937	0.0933	0.0930	0.0926	0.0923	0.0919	0.0916	0.0912	0.0908
240	0.0905	0.0902	0.0898	0.0895	0.0891	0.0888	0.0885	0.0881	0.0878	0.0875	0.0871	0.0868	0.0865	0.0861	0.0858	0.0855	0.0852	0.0849	0.0846	0.0842
250	0.0839																			

Q345 钢 d 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ 表 14-9

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.985	0.981
10	0.977	0.972	0.967	0.961	0.955	0.948	0.941	0.931	0.920	0.909
20	0.898	0.888	0.877	0.866	0.856	0.846	0.836	0.825	0.815	0.806
30	0.796	0.786	0.776	0.767	0.757	0.748	0.738	0.729	0.720	0.710
40	0.701	0.692	0.683	0.674	0.666	0.657	0.648	0.640	0.631	0.623
50	0.614	0.606	0.598	0.590	0.582	0.574	0.566	0.558	0.551	0.543
60	0.536	0.528	0.521	0.514	0.507	0.500	0.493	0.486	0.479	0.472
70	0.466	0.459	0.453	0.447	0.441	0.434	0.428	0.423	0.417	0.411
80	0.405	0.400	0.396	0.392	0.387	0.383	0.379	0.375	0.371	0.367
90	0.363	0.359	0.355	0.351	0.347	0.343	0.339	0.335	0.332	0.328
100	0.324	0.321	0.317	0.313	0.310	0.306	0.303	0.300	0.296	0.293
110	0.290	0.286	0.283	0.280	0.277	0.274	0.271	0.268	0.265	0.262
120	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248	0.245	0.242	0.240	0.237	0.235
130	0.232	0.230	0.227	0.225	0.222	0.220	0.218	0.215	0.213	0.211
140	0.209	0.206	0.204	0.202	0.200	0.198	0.196	0.194	0.192	0.190
150	0.188	0.186	0.184	0.182	0.181	0.179	0.177	0.175	0.173	0.172
160	0.170	0.168	0.167	0.165	0.164	0.162	0.160	0.159	0.157	0.156
170	0.154	0.153	0.151	0.150	0.149	0.147	0.146	0.145	0.143	0.142
180	0.141	0.139	0.138	0.137	0.136	0.134	0.133	0.132	0.131	0.130
190	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119
200	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109

2）表 14-2～表 14-9 中的 φ 值系按下列公式求得：

当 $\lambda_n = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{\frac{f_y}{E}} \leqslant 0.215$ 时　$\varphi = 1 - \alpha_1\lambda_n^2$

当 $\lambda_n > 0.215$ 时　$\varphi = \frac{1}{2\lambda_n^2}\left[(\alpha_2 + \alpha_3\lambda_n + \lambda_n^2) - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3\lambda_n + \lambda_n^2)^2 - 4\lambda_n^2}\right]$

式中　α_1、α_2、α_3 系数，系根据表 14-1a，b 截面分类，按表 14-10 采用。

当构件的钢材牌号超出表 14-2～14-9 的范围时，则 φ 值可按以上公式计算。

稳定系数 φ 值计算公式中的系数 α　　表 14-10

截面类别		α_1	α_2	α_3
a 类		0.41	0.986	0.152
b 类		0.65	0.965	0.300
c 类	$\lambda_n \leqslant 1.05$	0.73	0.906	0.595
	$\lambda_n > 1.05$		1.216	0.302
d 类	$\lambda_n \leqslant 1.05$	1.35	0.868	0.915
	$\lambda_n > 1.05$		1.375	0.432

3）冷弯薄壁型钢结构轴心受压构件的稳定系数

Q235 钢轴心受压构件的稳定系数 φ　　表 14-11

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.995	0.992	0.989	0.987	0.984	0.981	0.979	0.976
10	0.974	0.971	0.968	0.966	0.963	0.960	0.958	0.955	0.952	0.949
20	0.947	0.944	0.941	0.938	0.936	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921
30	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.899	0.896	0.893	0.889
40	0.886	0.882	0.879	0.875	0.872	0.868	0.864	0.861	0.858	0.855
50	0.852	0.849	0.846	0.843	0.839	0.836	0.832	0.829	0.825	0.822
60	0.818	0.814	0.810	0.806	0.802	0.797	0.793	0.789	0.784	0.779
70	0.775	0.770	0.765	0.760	0.755	0.750	0.744	0.739	0.733	0.728
80	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.680	0.673	0.667
90	0.661	0.654	0.648	0.641	0.634	0.626	0.618	0.611	0.603	0.595
100	0.588	0.580	0.573	0.566	0.558	0.551	0.544	0.537	0.530	0.523
110	0.516	0.509	0.502	0.496	0.489	0.483	0.476	0.470	0.464	0.458
120	0.452	0.446	0.440	0.434	0.428	0.423	0.417	0.412	0.406	0.401
130	0.396	0.391	0.386	0.381	0.376	0.371	0.367	0.362	0.357	0.353
140	0.349	0.344	0.340	0.336	0.332	0.328	0.324	0.320	0.316	0.312
150	0.308	0.305	0.301	0.298	0.294	0.291	0.287	0.284	0.281	0.277
160	0.274	0.271	0.268	0.265	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248
170	0.245	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.230	0.227	0.225	0.223
180	0.220	0.218	0.216	0.214	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
190	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191	0.189	0.188	0.186	0.184	0.182
200	0.180	0.179	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.167	0.166
210	0.164	0.163	0.161	0.160	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.152
220	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145	0.144	0.143	0.141	0.140	0.139
230	0.138	0.137	0.136	0.135	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128
240	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
250	0.117									

Q345 钢轴心受压构件的稳定系数 φ 表 14-12

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.994	0.991	0.988	0.985	0.982	0.979	0.976	0.973
10	0.971	0.968	0.965	0.962	0.959	0.956	0.952	0.949	0.946	0.943
20	0.940	0.937	0.934	0.930	0.927	0.924	0.920	0.917	0.913	0.909
30	0.906	0.902	0.898	0.894	0.890	0.886	0.882	0.878	0.874	0.870
40	0.867	0.864	0.860	0.857	0.853	0.849	0.845	0.841	0.837	0.833
50	0.829	0.824	0.819	0.815	0.810	0.805	0.800	0.794	0.789	0.783
60	0.777	0.771	0.765	0.759	0.752	0.746	0.739	0.732	0.725	0.718
70	0.710	0.703	0.695	0.688	0.680	0.672	0.664	0.656	0.648	0.640
80	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583	0.574	0.566	0.558
90	0.550	0.542	0.535	0.527	0.519	0.512	0.504	0.497	0.489	0.482
100	0.475	0.467	0.460	0.452	0.445	0.438	0.431	0.424	0.418	0.411
110	0.405	0.398	0.392	0.386	0.380	0.375	0.369	0.363	0.358	0.352
120	0.347	0.342	0.337	0.332	0.327	0.322	0.318	0.313	0.309	0.304
130	0.300	0.296	0.292	0.288	0.284	0.280	0.276	0.272	0.269	0.265
140	0.261	0.258	0 255	0.251	0.248	0.245	0.242	0.238	0.235	0.232
150	0.229	0.227	0.224	0.221	0.218	0.216	0.213	0.210	0.208	0.205
160	0.203	0.201	0.198	0.196	0.194	0.191	0.189	0.187	0.185	0.183
170	0.181	0.179	0.177	0.175	0.173	0.171	0.169	0.167	0.165	0.163
180	0.162	0.160	0.158	0.157	0.155	0.153	0.152	0.150	0.149	0.147
190	0.146	0.144	0.143	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.134	0.133
200	0.132	0.130	0.129	0.128	0.127	0 126	0.124	0.123	0.122	0.121
210	0.120	0.119	0.118	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110
220	0.109	0.108	0.107	0.106	0.106	0.105	0.104	0.103	0.101	0.101
230	0.100	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.094	0.094	0.093
240	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086
250	0.085									

15 柱的计算长度系数

(1) 无侧移框架等截面柱的计算长度系数 μ

表 15-1

K_2 \ K_1	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0	1.000	0.990	0.981	0.964	0.949	0.935	0.922	0.911	0.901	0.891	0.883	0.875	0.868	0.861	0.854	0.849	0.843
0.05	0.990	0.981	0.971	0.955	0.940	0.926	0.914	0.903	0.893	0.884	0.875	0.867	0.860	0.853	0.847	0.841	0.836
0.10	0.981	0.971	0.962	0.946	0.931	0.918	0.906	0.895	0.885	0.876	0.868	0.860	0.853	0.846	0.840	0.834	0.829
0.15	0.972	0.963	0.954	0.938	0.923	0.910	0.898	0.888	0.878	0.869	0.861	0.853	0.846	0.839	0.833	0.828	0.822
0.20	0.964	0.955	0.946	0.930	0.916	0.903	0.891	0.881	0.871	0.862	0.854	0.846	0.840	0.833	0.827	0.822	0.816
0.25	0.956	0.947	0.939	0.923	0.909	0.896	0.885	0.874	0.864	0.856	0.848	0.840	0.833	0.827	0.821	0.816	0.810
0.30	0.949	0.940	0.931	0.916	0.902	0.889	0.878	0.868	0.858	0.850	0.842	0.834	0.828	0.821	0.815	0.810	0.805
0.35	0.942	0.933	0.925	0.909	0.896	0.883	0.872	0.862	0.852	0.844	0.836	0.829	0.822	0.816	0.810	0.805	0.799
0.40	0.935	0.926	0.918	0.903	0.889	0.877	0.866	0.856	0.847	0.838	0.830	0.823	0.817	0.810	0.805	0.799	0.794
0.45	0.929	0.920	0.912	0.897	0.884	0.872	0.861	0.851	0.841	0.833	0.825	0.818	0.812	0.805	0.800	0.794	0.790
0.50	0.922	0.914	0.906	0.891	0.878	0.866	0.855	0.845	0.836	0.828	0.820	0.813	0.807	0.801	0.795	0.790	0.785
0.55	0.917	0.908	0.900	0.886	0.873	0.861	0.850	0.840	0.831	0.823	0.816	0.800	0.802	0.796	0.790	0.785	0.780
0.60	0.911	0.903	0.895	0.881	0.868	0.856	0.845	0.836	0.827	0.819	0.811	0.804	0.798	0.792	0.786	0.781	0.776
0.65	0.906	0.898	0.890	0.876	0.863	0.851	0.841	0.831	0.822	0.814	0.807	0.800	0.793	0.788	0.782	0.777	0.772
0.70	0.901	0.893	0.885	0.871	0.858	0.847	0.836	0.827	0.818	0.810	0.803	0.796	0.789	0.783	0.778	0.773	0.768
0.75	0.896	0.888	0.880	0.867	0.854	0.842	0.832	0.823	0.814	0.806	0.799	0.792	0.785	0.780	0.774	0.769	0.764
0.80	0.891	0.884	0.876	0.862	0.850	0.838	0.828	0.819	0.810	0.802	0.795	0.788	0.782	0.776	0.771	0.766	0.761
0.85	0.887	0.879	0.872	0.858	0.846	0.834	0.824	0.815	0.806	0.798	0.791	0.784	0.778	0.772	0.767	0.762	0.757
0.90	0.883	0.875	0.868	0.854	0.842	0.830	0.820	0.811	0.803	0.795	0.787	0.781	0.775	0.769	0.764	0.759	0.754
0.95	0.879	0.871	0.864	0.850	0.838	0.827	0.817	0.807	0.799	0.791	0.784	0.777	0.771	0.766	0.760	0.755	0.751
1.00	0.875	0.867	0.860	0.846	0.834	0.823	0.813	0.804	0.796	0.788	0.781	0.774	0.768	0.763	0.757	0.752	0.748

续表

K_2 \ K_1	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1.1	0.868	0.860	0.853	0.840	0.828	0.817	0.807	0.798	0.789	0.782	0.775	0.768	0.762	0.757	0.751	0.746	0.742
1.2	0.861	0.853	0.846	0.833	0.821	0.810	0.801	0.792	0.783	0.776	0.769	0.763	0.757	0.751	0.746	0.741	0.736
1.3	0.854	0.847	0.840	0.827	0.815	0.805	0.795	0.786	0.778	0.771	0.764	0.757	0.751	0.746	0.741	0.736	0.731
1.4	0.849	0.841	0.834	0.822	0.810	0.799	0.790	0.781	0.773	0.766	0.759	0.752	0.746	0.741	0.736	0.731	0.727
1.5	0.843	0.836	0.829	0.816	0.805	0.794	0.785	0.776	0.768	0.761	0.754	0.748	0.742	0.736	0.731	0.727	0.722
1.6	0.838	0.831	0.824	0.811	0.800	0.790	0.780	0.772	0.764	0.756	0.750	0.743	0.738	0.732	0.727	0.723	0.718
1.7	0.833	0.826	0.819	0.807	0.796	0.785	0.776	0.767	0.760	0.752	0.746	0.739	0.734	0.728	0.723	0.719	0.714
1.8	0.829	0.822	0.815	0.803	0.791	0.781	0.772	0.763	0.756	0.748	0.742	0.736	0.730	0.725	0.720	0.715	0.711
1.9	0.824	0.818	0.811	0.799	0.788	0.777	0.768	0.760	0.752	0.745	0.738	0.732	0.726	0.721	0.716	0.712	0.707
2.0	0.820	0.814	0.807	0.795	0.784	0.774	0.765	0.756	0.749	0.741	0.735	0.729	0.723	0.718	0.713	0.708	0.704
2.2	0.813	0.806	0.800	0.788	0.777	0.767	0.758	0.750	0.742	0.735	0.729	0.723	0.717	0.712	0.707	0.702	0.698
2.4	0.807	0.800	0.794	0.782	0.771	0.761	0.752	0.744	0.736	0.730	0.723	0.717	0.712	0.706	0.702	0.697	0.693
2.6	0.801	0.794	0.788	0.776	0.766	0.756	0.747	0.739	0.731	0.724	0.718	0.712	0.707	0.702	0.697	0.692	0.688
2.8	0.796	0.789	0.783	0.771	0.761	0.751	0.742	0.734	0.727	0.720	0.714	0.708	0.702	0.697	0.692	0.688	0.684
3.0	0.791	0.784	0.778	0.767	0.756	0.747	0.738	0.730	0.723	0.716	0.709	0.704	0.698	0.693	0.688	0.684	0.680
3.2	0.787	0.780	0.774	0.763	0.752	0.743	0.734	0.726	0.719	0.712	0.706	0.700	0.695	0.690	0.685	0.680	0.676
3.4	0.783	0.776	0.770	0.759	0.749	0.739	0.731	0.723	0.715	0.709	0.702	0.697	0.691	0.686	0.682	0.677	0.673
3.6	0.779	0.773	0.767	0.755	0.745	0.736	0.727	0.719	0.712	0.705	0.699	0.693	0.688	0.683	0.679	0.674	0.670
3.8	0.776	0.769	0.763	0.752	0.742	0.733	0.724	0.716	0.709	0.703	0.696	0.691	0.685	0.680	0.676	0.671	0.667
4.0	0.773	0.766	0.760	0.749	0.739	0.730	0.721	0.714	0.707	0.700	0.694	0.688	0.683	0.678	0.673	0.669	0.665
4.2	0.770	0.764	0.758	0.747	0.737	0.727	0.719	0.711	0.704	0.697	0.691	0.686	0.680	0.675	0.671	0.666	0.662
4.4	0.767	0.761	0.755	0.744	0.734	0.725	0.717	0.709	0.702	0.695	0.689	0.683	0.678	0.673	0.669	0.664	0.660
4.6	0.765	0.759	0.753	0.742	0.732	0.723	0.714	0.707	0.700	0.693	0.687	0.681	0.676	0.671	0.667	0.662	0.658
4.8	0.762	0.756	0.750	0.740	0.730	0.721	0.712	0.705	0.698	0.691	0.685	0.679	0.674	0.669	0.665	0.660	0.656
5.0	0.760	0.754	0.748	0.737	0.728	0.719	0.710	0.703	0.696	0.689	0.683	0.677	0.672	0.667	0.663	0.659	0.655
6	0.751	0.745	0.740	0.729	0.719	0.710	0.702	0.695	0.688	0.681	0.675	0.670	0.665	0.660	0.655	0.651	0.647
7	0.745	0.739	0.733	0.723	0.713	0.704	0.696	0.689	0.682	0.676	0.670	0.664	0.659	0.654	0.650	0.646	0.642
8	0.740	0.734	0.728	0.718	0.708	0.700	0.692	0.684	0.677	0.671	0.665	0.660	0.655	0.650	0.646	0.642	0.638
9	0.735	0.730	0.724	0.714	0.704	0.696	0.688	0.681	0.674	0.668	0.662	0.656	0.651	0.647	0.642	0.638	0.634
≥10	0.732	0.726	0.721	0.711	0.701	0.693	0.685	0.678	0.671	0.665	0.659	0.654	0.649	0.644	0.639	0.635	0.631

续表

K_2 \ K_1	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	4	5	6	7	8	≥10
0	0.838	0.833	0.829	0.824	0.820	0.813	0.807	0.801	0.796	0.791	0.773	0.760	0.751	0.745	0.740	0.732
0.05	0.831	0.826	0.822	0.818	0.814	0.806	0.800	0.794	0.789	0.784	0.766	0.754	0.745	0.739	0.734	0.726
0.10	0.824	0.819	0.815	0.811	0.807	0.800	0.794	0.788	0.783	0.778	0.760	0.748	0.740	0.733	0.728	0.721
0.15	0.818	0.813	0.809	0.805	0.801	0.794	0.788	0.782	0.777	0.772	0.755	0.743	0.734	0.728	0.723	0.716
0.20	0.811	0.807	0.803	0.799	0.795	0.788	0.782	0.776	0.771	0.767	0.749	0.737	0.729	0.723	0.718	0.711
0.25	0.806	0.801	0.797	0.793	0.789	0.782	0.776	0.771	0.766	0.761	0.744	0.732	0.724	0.718	0.713	0.706
0.30	0.800	0.796	0.791	0.788	0.784	0.777	0.771	0.766	0.761	0.756	0.739	0.728	0.719	0.713	0.708	0.701
0.35	0.795	0.791	0.786	0.782	0.779	0.772	0.766	0.761	0.756	0.751	0.734	0.723	0.715	0.709	0.704	0.697
0.40	0.790	0.785	0.781	0.777	0.774	0.767	0.761	0.756	0.751	0.747	0.730	0.719	0.710	0.704	0.700	0.693
0.45	0.785	0.781	0.777	0.773	0.769	0.763	0.757	0.751	0.747	0.742	0.726	0.714	0.706	0.700	0.696	0.689
0.50	0.780	0.776	0.772	0.768	0.765	0.758	0.752	0.747	0.742	0.738	0.721	0.710	0.702	0.696	0.692	0.685
0.55	0.776	0.772	0.768	0.764	0.760	0.754	0.748	0.743	0.738	0.734	0.718	0.706	0.698	0.693	0.688	0.681
0.60	0.772	0.767	0.763	0.760	0.756	0.750	0.744	0.739	0.734	0.730	0.714	0.703	0.695	0.689	0.684	0.678
0.65	0.768	0.763	0.759	0.756	0.752	0.746	0.740	0.735	0.730	0.726	0.710	0.699	0.691	0.685	0.681	0.674
0.70	0.764	0.760	0.756	0.752	0.749	0.742	0.736	0.731	0.727	0.723	0.707	0.696	0.688	0.682	0.677	0.671
0.75	0.760	0.756	0.752	0.748	0.745	0.739	0.733	0.728	0.723	0.719	0.703	0.692	0.685	0.679	0.674	0.668
0.80	0.756	0.752	0.748	0.745	0.741	0.735	0.730	0.724	0.720	0.716	0.700	0.689	0.681	0.676	0.671	0.665
0.85	0.753	0.749	0.745	0.741	0.738	0.732	0.726	0.721	0.717	0.713	0.697	0.686	0.678	0.673	0.668	0.662
0.90	0.750	0.746	0.742	0.738	0.735	0.729	0.723	0.718	0.714	0.709	0.694	0.683	0.675	0.670	0.665	0.659
0.95	0.747	0.742	0.739	0.735	0.732	0.726	0.720	0.715	0.711	0.706	0.691	0.680	0.673	0.667	0.663	0.656
1.00	0.743	0.739	0.736	0.732	0.729	0.723	0.717	0.712	0.708	0.704	0.688	0.677	0.670	0.664	0.660	0.654
1.1	0.738	0.734	0.730	0.726	0.723	0.717	0.712	0.707	0.702	0.698	0.683	0.672	0.665	0.659	0.655	0.649
1.2	0.732	0.728	0.725	0.721	0.718	0.712	0.706	0.702	0.697	0.693	0.678	0.667	0.660	0.654	0.650	0.644
1.3	0.727	0.723	0.720	0.716	0.713	0.707	0.702	0.697	0.692	0.688	0.673	0.663	0.655	0.650	0.646	0.639
1.4	0.723	0.719	0.715	0.712	0.708	0.702	0.697	0.692	0.688	0.684	0.669	0.659	0.651	0.646	0.642	0.635
1.5	0.718	0.714	0.711	0.707	0.704	0.698	0.693	0.688	0.684	0.680	0.665	0.655	0.647	0.642	0.638	0.631
1.6	0.714	0.710	0.707	0.703	0.700	0.694	0.689	0.684	0.680	0.676	0.661	0.651	0.644	0.638	0.634	0.628
1.7	0.710	0.706	0.703	0.699	0.696	0.690	0.685	0.680	0.676	0.672	0.657	0.647	0.640	0.635	0.631	0.624
1.8	0.707	0.703	0.699	0.696	0.693	0.687	0.682	0.677	0.673	0.669	0.654	0.644	0.637	0.631	0.627	0.621
1.9	0.703	0.699	0.696	0.693	0.689	0.684	0.678	0.674	0.670	0.666	0.651	0.641	0.634	0.628	0.624	0.618
2.0	0.700	0.696	0.693	0.689	0.686	0.680	0.675	0.671	0.666	0.663	0.648	0.638	0.631	0.625	0.621	0.615

续表

K_2 \ K_1	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	4	5	6	7	8	≥10
2.2	0.694	0.690	0.687	0.684	0.680	0.675	0.670	0.665	0.661	0.657	0.642	0.632	0.625	0.620	0.616	0.610
2.4	0.689	0.685	0.682	0.678	0.675	0.670	0.665	0.660	0.656	0.652	0.637	0.628	0.621	0.615	0.611	0.605
2.6	0.684	0.680	0.677	0.674	0.671	0.665	0.660	0.655	0.651	0.647	0.633	0.623	0.616	0.611	0.607	0.601
2.8	0.680	0.676	0.673	0.670	0.666	0.661	0.658	0.651	0.647	0.643	0.629	0.619	0.612	0.607	0.603	0.597
3.0	0.676	0.672	0.669	0.666	0.663	0.657	0.652	0.647	0.643	0.640	0.625	0.616	0.609	0.603	0.599	0.593
3.2	0.672	0.669	0.665	0.662	0.659	0.654	0.649	0.644	0.640	0.636	0.622	0.612	0.605	0.600	0.596	0.590
3.4	0.669	0.666	0.662	0.659	0.656	0.650	0.645	0.641	0.637	0.633	0.619	0.609	0.602	0.597	0.593	0.587
3.6	0.666	0.663	0.659	0.656	0.653	0.648	0.643	0.638	0.634	0.630	0.616	0.606	0.599	0.594	0.590	0.584
3.8	0.663	0.660	0.657	0.653	0.650	0.645	0.640	0.635	0.631	0.628	0.613	0.604	0.597	0.592	0.588	0.582
4.0	0.661	0.657	0.654	0.651	0.648	0.642	0.637	0.633	0.629	0.625	0.611	0.601	0.595	0.589	0.585	0.580
4.2	0.659	0.655	0.652	0.649	0.646	0.640	0.635	0.631	0.627	0.623	0.609	0.599	0.592	0.587	0.583	0.577
4.4	0.656	0.653	0.650	0.646	0.643	0.638	0.633	0.629	0.625	0.621	0.607	0.597	0.590	0.585	0.581	0.575
4.6	0.654	0.651	0.648	0.644	0.641	0.636	0.631	0.627	0.623	0.619	0.605	0.595	0.588	0.583	0.579	0.574
4.8	0.653	0.649	0.646	0.643	0.640	0.634	0.629	0.625	0.621	0.617	0.603	0.594	0.587	0.582	0.578	0.572
5.0	0.651	0.647	0.644	0.641	0.638	0.632	0.628	0.623	0.619	0.616	0.601	0.592	0.585	0.580	0.576	0.570
6	0.644	0.640	0.637	0.634	0.631	0.625	0.621	0.616	0.612	0.609	0.595	0.585	0.578	0.573	0.569	0.563
7	0.638	0.635	0.631	0.628	0.625	0.620	0.615	0.611	0.607	0.603	0.589	0.580	0.573	0.568	0.564	0.558
8	0.634	0.631	0.627	0.624	0.621	0.616	0.611	0.607	0.603	0.600	0.585	0.576	0.569	0.564	0.560	0.554
9	0.631	0.627	0.624	0.621	0.618	0.613	0.608	0.604	0.600	0.596	0.582	0.573	0.566	0.561	0.557	0.551
≥10	0.628	0.624	0.621	0.618	0.615	0.610	0.605	0.601	0.597	0.593	0.580	0.570	0.563	0.558	0.554	0.549

注：1. 表中的计算长度系数 μ 值系按下式计算求得：

$$\left[\left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2 + 2(K_1 + K_2) - 4K_1K_2\right]\frac{\pi}{\mu}\cdot\sin\frac{\pi}{\mu} - 2\left[(K_1 + K_2)\left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2 + 4K_1K_2\right]\cos\frac{\pi}{\mu} + 8K_1K_2 = 0$$

K_1、K_2——相交于柱上端、柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。当梁远端为铰接时，应将横梁线刚度乘以 1.5；当横梁远端为嵌固时，则将横梁线刚度乘以 2.0。

2. 当横梁与柱铰接时，取横梁线刚度为零。

3. 对底层框架柱：当柱与基础铰接时，取 $K_2=0$（对平板支座可取 $K_2=0.1$）；当柱与基础刚接时，取 $K_2=10$。

4. 当与柱刚性连接的横梁所受轴心压力 N_b 较大时，横梁线刚度应乘以折减系数 α_N：

横梁远端与柱刚接和横梁远端铰支时　　$\alpha_N = 1 - N_b/N_{Eb}$

横梁远端嵌固时　　$\alpha_N = 1 - N_b/(2N_{Eb})$

式中，$N_{Eb} = \pi^2 EI_b/l^2$，I_b 为横梁截面惯性矩，l 为横梁长度。

(2) 有侧移框架等截面柱的计算长度系数 μ

表 15-2

K_2 \ K_1	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0	∞	6.021	4.456	3.423	3.007	2.779	2.635	2.535	2.462	2.407	2.363	2.328	2.299	2.274	2.254	2.236	2.220
0.05	6.021	4.157	3.470	2.864	2.580	2.415	2.307	2.231	2.175	2.132	2.097	2.069	2.046	2.027	2.010	1.996	1.984
0.10	4.456	3.470	3.010	2.558	2.332	2.196	2.106	2.042	1.994	1.957	1.927	1.903	1.883	1.866	1.852	1.839	1.828
0.15	3.797	3.099	2.739	2.363	2.168	2.049	1.969	1.911	1.868	1.835	1.808	1.786	1.768	1.753	1.740	1.729	1.719
0.20	3.423	2.864	2.558	2.228	2.052	1.943	1.870	1.816	1.776	1.745	1.720	1.700	1.683	1.669	1.657	1.646	1.637
0.25	3.179	2.700	2.429	2.128	1.966	1.864	1.794	1.744	1.706	1.677	1.653	1.634	1.618	1.604	1.592	1.582	1.573
0.30	3.007	2.580	2.332	2.052	1.898	1.802	1.735	1.687	1.651	1.622	1.600	1.581	1.565	1.552	1.541	1.531	1.523
0.35	2.878	2.488	2.256	1.992	1.845	1.752	1.688	1.641	1.606	1.579	1.557	1.538	1.523	1.511	1.500	1.490	1.482
0.40	2.779	2.415	2.196	1.943	1.802	1.711	1.649	1.604	1.569	1.543	1.521	1.503	1.488	1.476	1.465	1.456	1.448
0.45	2.699	2.356	2.147	1.903	1.766	1.678	1.617	1.572	1.539	1.512	1.491	1.474	1.459	1.447	1.436	1.427	1.419
0.50	2.635	2.307	2.106	1.870	1.735	1.649	1.589	1.546	1.513	1.487	1.466	1.449	1.434	1.422	1.412	1.403	1.395
0.55	2.581	2.266	2.071	1.841	1.710	1.625	1.566	1.523	1.490	1.465	1.444	1.427	1.413	1.401	1.391	1.382	1.374
0.60	2.535	2.231	2.042	1.816	1.687	1.604	1.546	1.503	1.471	1.446	1.425	1.408	1.394	1.382	1.372	1.363	1.356
0.65	2.496	2.201	2.016	1.795	1.668	1.586	1.528	1.486	1.454	1.429	1.409	1.392	1.378	1.366	1.356	1.347	1.340
0.70	2.462	2.175	1.994	1.776	1.651	1.569	1.513	1.471	1.439	1.414	1.394	1.377	1.364	1.352	1.342	1.333	1.325
0.75	2.433	2.152	1.974	1.760	1.636	1.555	1.499	1.458	1.426	1.401	1.381	1.365	1.351	1.339	1.329	1.320	1.313
0.80	2.407	2.132	1.957	1.745	1.622	1.543	1.487	1.446	1.414	1.389	1.369	1.353	1.339	1.328	1.318	1.809	1.302
0.85	2.384	2.114	1.941	1.732	1.610	1.531	1.476	1.435	1.404	1.379	1.359	1.343	1.329	1.318	1.308	1.299	1.291
0.90	2.363	2.097	1.927	1.720	1.600	1.521	1.466	1.425	1.394	1.369	1.350	1.333	1.320	1.308	1.298	1.290	1.282
0.95	2.345	2.083	1.914	1.710	1.589	1.512	1.457	1.416	1.385	1.361	1.341	1.325	1.311	1.300	1.290	1.282	1.274
1.00	2.328	2.069	1.903	1.700	1.581	1.503	1.449	1.408	1.377	1.353	1.333	1.317	1.304	1.292	1.282	1.274	1.266

续表

K_2 \ K_1	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1.1	2.299	2.046	1.883	1.683	1.565	1.488	1.434	1.394	1.364	1.339	1.320	1.304	1.290	1.279	1.269	1.261	1.253
1.2	2.274	2.027	1.866	1.669	1.552	1.476	1.422	1.382	1.352	1.328	1.308	1.292	1.279	1.268	1.258	1.249	1.242
1.3	2.254	2.010	1.852	1.657	1.541	1.465	1.412	1.372	1.342	1.318	1.298	1.282	1.269	1.258	1.248	1.240	1.232
1.4	2.236	1.996	1.839	1.646	1.531	1.456	1.403	1.363	1.333	1.309	1.290	1.274	1.261	1.249	1.240	1.231	1.224
1.5	2.220	1.984	1.828	1.637	1.523	1.448	1.395	1.356	1.325	1.302	1.282	1.266	1.253	1.242	1.232	1.224	1.216
1.6	2.207	1.973	1.819	1.629	1.515	1.441	1.388	1.349	1.319	1.295	1.276	1.260	1.247	1.235	1.226	1.217	1.210
1.7	2.195	1.963	1.810	1.621	1.509	1.434	1.382	1.343	1.313	1.289	1.270	1.254	1.241	1.230	1.220	1.211	1.204
1.8	2.184	1.954	1.803	1.615	1.503	1.429	1.376	1.337	1.307	1.284	1.265	1.249	1.236	1.224	1.215	1.206	1.199
1.9	2.175	1.947	1.796	1.609	1.497	1.424	1.371	1.332	1.303	1.279	1.260	1.244	1.231	1.220	1.210	1.202	1.194
2.0	2.166	1.940	1.790	1.604	1.493	1.419	1.367	1.328	1.298	1.275	1.256	1.240	1.227	1.215	1.206	1.197	1.190
2.2	2.151	1.927	1.779	1.595	1.484	1.411	1.359	1.320	1.291	1.267	1.248	1.232	1.219	1.208	1.198	1.190	1.183
2.4	2.138	1.917	1.771	1.587	1.477	1.404	1.352	1.314	1.284	1.261	1.242	1.226	1.213	1.202	1.192	1.184	1.177
2.6	2.128	1.909	1.763	1.581	1.471	1.399	1.347	1.309	1.279	1.256	1.237	1.221	1.208	1.197	1.187	1.179	1.171
2.8	2.119	1.901	1.757	1.575	1.466	1.394	1.342	1.304	1.274	1.251	1.232	1.216	1.203	1.192	1.183	1.174	1.167
3.0	2.111	1.895	1.751	1.570	1.462	1.389	1.338	1.300	1.270	1.247	1.228	1.213	1.199	1.188	1.179	1.170	1.163
3.2	2.104	1.889	1.746	1.566	1.458	1.386	1.334	1.296	1.267	1.244	1.225	1.209	1.196	1.185	1.175	1.167	1.160
3.4	2.098	1.884	1.742	1.562	1.454	1.382	1.331	1.293	1.264	1.240	1.222	1.206	1.193	1.182	1.172	1.164	1.157
3.6	2.092	1.880	1.738	1.559	1.451	1.379	1.328	1.290	1.261	1.238	1.219	1.203	1.190	1.179	1.170	1.161	1.154
3.8	2.088	1.876	1.734	1.556	1.449	1.377	1.326	1.288	1.259	1.235	1.216	1.201	1.188	1.177	1.167	1.159	1.152
4.0	2.083	1.872	1.731	1.553	1.446	1.374	1.324	1.286	1.256	1.233	1.214	1.199	1.186	1.174	1.165	1.157	1.149
4.2	2.079	1.869	1.728	1.551	1.444	1.372	1.321	1.284	1.254	1.231	1.212	1.197	1.184	1.172	1.163	1.155	1.148
4.4	2.076	1.866	1.726	1.549	1.442	1.370	1.320	1.282	1.252	1.229	1.210	1.195	1.182	1.171	1.161	1.153	1.146
4.6	2.072	1.863	1.723	1.547	1.440	1.369	1.318	1.280	1.251	1.228	1.209	1.193	1.180	1.169	1.160	1.151	1.144
4.8	2.069	1.861	1.721	1.545	1.438	1.367	1.316	1.278	1.249	1.226	1.207	1.192	1.179	1.168	1.158	1.150	1.142
5.0	2.067	1.859	1.719	1.543	1.437	1.365	1.315	1.277	1.248	1.225	1.206	1.190	1.178	1.166	1.157	1.148	1.141
6	2.056	1.850	1.711	1.536	1.430	1.359	1.309	1.271	1.242	1.219	1.200	1.185	1.172	1.161	1.151	1.143	1.136
7	2.048	1.843	1.706	1.532	1.426	1.355	1.305	1.267	1.238	1.215	1.196	1.181	1.168	1.157	1.147	1.139	1.132
8	2.042	1.838	1.701	1.528	1.422	1.352	1.302	1.264	1.235	1.212	1.193	1.178	1.165	1.154	1.144	1.136	1.129
9	2.037	1.834	1.698	1.525	1.420	1.349	1.299	1.262	1.232	1.209	1.191	1.175	1.162	1.151	1.142	1.133	1.126
≥10	2.033	1.831	1.695	1.523	1.418	1.347	1.297	1.260	1.231	1.208	1.189	1.173	1.160	1.149	1.140	1.132	1.124

续表

K_2 \ K_1	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	4	5	6	7	8	≥10
0	2.207	2.195	2.184	2.175	2.166	2.151	2.138	2.128	2.119	2.111	2.083	2.067	2.056	2.048	2.042	2.033
0.05	1.973	1.963	1.954	1.947	1.940	1.927	1.917	1.909	1.901	1.895	1.872	1.859	1.850	1.843	1.838	1.831
0.10	1.819	1.810	1.803	1.796	1.790	1.779	1.771	1.763	1.757	1.751	1.731	1.719	1.711	1.706	1.701	1.695
0.15	1.710	1.702	1.695	1.689	1.684	1.674	1.666	1.659	1.653	1.648	1.630	1.619	1.612	1.606	1.603	1.597
0.20	1.629	1.621	1.615	1.609	1.604	1.595	1.587	1.581	1.575	1.571	1.553	1.543	1.536	1.532	1.528	1.523
0.25	1.566	1.559	1.553	1.547	1.542	1.533	1.526	1.520	1.515	1.510	1.494	1.484	1.478	1.473	1.469	1.464
0.30	1.515	1.509	1.503	1.497	1.493	1.484	1.477	1.471	1.466	1.462	1.446	1.437	1.430	1.426	1.422	1.418
0.35	1.475	1.468	1.462	1.457	1.452	1.444	1.437	1.432	1.427	1.422	1.407	1.398	1.392	1.387	1.384	1.379
0.40	1.441	1.434	1.429	1.424	1.419	1.411	1.404	1.399	1.394	1.389	1.374	1.365	1.359	1.355	1.352	1.347
0.45	1.412	1.406	1.400	1.395	1.391	1.383	1.376	1.371	1.366	1.362	1.347	1.338	1.332	1.328	1.325	1.320
0.50	1.388	1.382	1.376	1.371	1.367	1.359	1.352	1.347	1.342	1.338	1.324	1.315	1.309	1.305	1.302	1.297
0.55	1.367	1.361	1.355	1.350	1.346	1.338	1.332	1.326	1.322	1.318	1.303	1.295	1.289	1.285	1.281	1.277
0.60	1.349	1.343	1.337	1.332	1.328	1.320	1.314	1.309	1.304	1.300	1.286	1.277	1.271	1.267	1.264	1.260
0.65	1.333	1.327	1.321	1.317	1.312	1.305	1.298	1.293	1.288	1.284	1.270	1.261	1.256	1.252	1.249	1.244
0.70	1.319	1.313	1.307	1.303	1.298	1.291	1.284	1.279	1.274	1.270	1.256	1.248	1.242	1.238	1.235	1.231
0.75	1.306	1.300	1.295	1.290	1.286	1.278	1.272	1.267	1.262	1.258	1.244	1.236	1.230	1.226	1.223	1.218
0.80	1.295	1.289	1.284	1.278	1.275	1.267	1.261	1.256	1.251	1.247	1.233	1.225	1.219	1.215	1.212	1.208
0.85	1.285	1.279	1.274	1.269	1.265	1.257	1.251	1.246	1.241	1.237	1.223	1.215	1.209	1.205	1.202	1.198
0.90	1.276	1.270	1.265	1.260	1.256	1.248	1.242	1.237	1.232	1.228	1.214	1.206	1.200	1.196	1.193	1.189
0.95	1.267	1.262	1.256	1.252	1.247	1.240	1.234	1.228	1.224	1.220	1.206	1.198	1.192	1.188	1.185	1.181
1.00	1.260	1.254	1.249	1.244	1.240	1.232	1.226	1.221	1.216	1.213	1.199	1.190	1.185	1.181	1.178	1.173
1.1	1.247	1.241	1.236	1.231	1.227	1.219	1.213	1.208	1.203	1.199	1.186	1.177	1.172	1.168	1.165	1.160
1.2	1.235	1.230	1.224	1.220	1.215	1.208	1.202	1.197	1.192	1.188	1.174	1.166	1.161	1.157	1.154	1.149
1.3	1.226	1.220	1.215	1.210	1.206	1.198	1.192	1.187	1.183	1.179	1.165	1.157	1.151	1.147	1.144	1.140
1.4	1.217	1.211	1.206	1.202	1.197	1.190	1.184	1.179	1.174	1.170	1.157	1.148	1.143	1.139	1.136	1.132
1.5	1.210	1.204	1.199	1.194	1.190	1.183	1.177	1.171	1.167	1.163	1.149	1.141	1.136	1.132	1.129	1.124
1.6	1.203	1.198	1.192	1.188	1.184	1.176	1.170	1.165	1.161	1.157	1.143	1.135	1.129	1.125	1.122	1.118
1.7	1.198	1.192	1.187	1.182	1.178	1.171	1.164	1.159	1.155	1.151	1.137	1.129	1.123	1.119	1.116	1.112
1.8	1.192	1.187	1.182	1.177	1.173	1.165	1.159	1.154	1.150	1.146	1.132	1.124	1.118	1.114	1.111	1.107
1.9	1.188	1.182	1.177	1.172	1.168	1.161	1.155	1.150	1.145	1.141	1.128	1.119	1.114	1.110	1.107	1.103
2.0	1.184	1.178	1.173	1.168	1.164	1.157	1.151	1.145	1.141	1.137	1.123	1.115	1.110	1.106	1.103	1.098

续表

K_2 \ K_1	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	4	5	6	7	8	≥10
2.2	1.176	1.171	1.165	1.161	1.157	1.149	1.143	1.138	1.134	1.130	1.116	1.108	1.102	1.098	1.095	1.091
2.4	1.170	1.164	1.159	1.155	1.151	1.143	1.137	1.132	1.128	1.124	1.110	1.102	1.096	1.092	1.089	1.085
2.6	1.165	1.159	1.154	1.150	1.145	1.138	1.132	1.127	1.122	1.119	1.105	1.097	1.091	1.087	1.084	1.080
2.8	1.161	1.155	1.150	1.145	1.141	1.134	1.128	1.122	1.118	1.114	1.100	1.092	1.087	1.083	1.080	1.076
3.0	1.157	1.151	1.146	1.141	1.137	1.130	1.124	1.119	1.114	1.110	1.097	1.088	1.083	1.079	1.076	1.072
3.2	1.153	1.148	1.142	1.138	1.134	1.126	1.120	1.115	1.111	1.107	1.093	1.085	1.079	1.075	1.072	1.068
3.4	1.150	1.144	1.139	1.135	1.131	1.123	1.117	1.112	1.108	1.104	1.090	1.082	1.076	1.072	1.069	1.065
3.6	1.148	1.142	1.137	1.132	1.128	1.121	1.115	1.109	1.105	1.101	1.087	1.079	1.074	1.070	1.067	1.063
3.8	1.145	1.139	1.134	1.130	1.126	1.118	1.112	1.107	1.103	1.099	1.085	1.077	1.071	1.067	1.064	1.060
4.0	1.143	1.137	1.132	1.128	1.123	1.116	1.110	1.105	1.100	1.097	1.083	1.075	1.069	1.065	1.062	1.058
4.2	1.141	1.135	1.130	1.126	1.121	1.114	1.108	1.103	1.098	1.095	1.081	1.073	1.067	1.063	1.060	1.056
4.4	1.139	1.133	1.128	1.124	1.120	1.112	1.106	1.101	1.097	1.093	1.079	1.071	1.065	1.061	1.059	1.054
4.6	1.138	1.132	1.127	1.122	1.118	1.111	1.105	1.100	1.095	1.091	1.078	1.069	1.064	1.060	1.057	1.053
4.8	1.136	1.130	1.125	1.121	1.116	1.109	1.103	1.098	1.094	1.090	1.076	1.068	1.062	1.058	1.055	1.051
5.0	1.135	1.129	1.124	1.119	1.115	1.108	1.102	1.097	1.092	1.088	1.075	1.066	1.061	1.057	1.054	1.050
6	1.129	1.123	1.118	1.114	1.110	1.102	1.096	1.091	1.087	1.083	1.069	1.061	1.055	1.051	1.049	1.044
7	1.125	1.119	1.114	1.110	1.106	1.098	1.092	1.087	1.083	1.079	1.065	1.057	1.051	1.048	1.045	1.040
8	1.122	1.116	1.111	1.107	1.103	1.095	1.089	1.084	1.080	1.076	1.062	1.054	1.049	1.045	1.042	1.037
9	1.120	1.114	1.109	1.104	1.100	1.093	1.087	1.082	1.077	1.074	1.060	1.052	1.046	1.042	1.039	1.035
≥10	1.118	1.112	1.107	1.103	1.098	1.091	1.085	1.080	1.076	1.072	1.058	1.050	1.044	1.040	1.037	1.033

注：1. 表中的计算长度系数 μ 值系按下式计算求得：

$$\left[36K_1K_2 - \left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2\right]\sin\frac{\pi}{\mu} + 6(K_1 + K_2)\frac{\pi}{\mu}\cdot\cos\frac{\pi}{\mu} = 0$$

K_1、K_2——分别为相交于柱上端、柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。当横梁远端为铰接时，应将横梁线刚度乘以 0.5；当横梁远端为嵌固时，则应乘以 2/3。

2. 当横梁与柱铰接时，取横梁线刚度为零。

3. 对底层框架柱；当柱与基础铰接时，取 $K_2 = 0$（对平板支座可取 $K_2 = 0.1$）；当柱与基础刚接时，取 $K_2 = 10$。

4. 当与柱刚性连接的横梁所受轴心压力 N_b 较大时，横梁线刚度应乘以折减系数 α_N：

横梁远端与柱刚接时　　$\alpha_N = 1 - N_b/(4N_{Eb})$

横梁远端铰支时　　$\alpha_N = 1 - N_b/N_{Eb}$

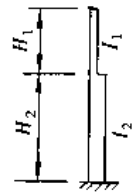
横梁远端嵌固时　　$\alpha_N = 1 - N_b/(2N_{Eb})$

N_{Eb}的计算式见表 15-1 注 4。

(3) 柱上端为自由的单阶柱下段的计算长度系数 μ

表 15-3

简图	η_1 \ K_1	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
	0.20	2.00	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03	2 03	2.03
	0.25	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03	2.03	2.04	2.04	2.04	2.04	2.05	2.05	2.05
	0.30	2.01	2.01	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03	2.04	2.04	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.07	2.07	2 07	2.08
	0.35	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.04	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.08	2.09	2.09	2 10	2.10	2.11
	0.40	2.02	2.03	2.03	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.14
	0.45	2.03	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.11	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19
	0.50	2.04	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19	2.20	2.22	2.23	2.24
	0.55	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.10	2.11	2.13	2.14	2.16	2.17	2.18	2.20	2.21	2.23	2.24	2.26	2.27	2.28	2.30
	0.60	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.12	2.14	2.16	2.18	2.19	2.21	2.23	2.25	2.26	2.28	2.30	2.31	2.33	2.35	2.36
	0.65	2.08	2.09	2.10	2.11	2.13	2.15	2.17	2.19	2.22	2.24	2.26	2.28	2.30	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.42	2.44
	0.70	2.10	2.11	2.13	2.14	2.16	2.18	2.21	2.24	2.26	2.29	2.31	2.34	2.36	2.38	2.41	2.43	2.45	2.47	2.50	2.52
	0.75	2.12	2.14	2.16	2.18	2.19	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.37	2.40	2.43	2.46	2.48	2.51	2.53	2.56	2.58	2.60
	0.80	2.15	2.17	2.20	2.22	2.24	2.27	2.31	2.34	2.38	2.41	2 44	2.47	2.50	2.53	2.56	2.59	2.62	2.64	2.67	2.70
	0.85	2.19	2.22	2.24	2.26	2.29	2.33	2.37	2.41	2.45	2.48	2.52	2.55	2.58	2.62	2.65	2.68	2.71	2 74	2.77	2.80
	0.90	2.24	2.27	2.29	2.32	2.35	2.39	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.63	2.67	2.71	2.74	2.77	2.81	2.84	2.87	2.90
	0.95	2.30	2.33	2.36	2.38	2.41	2.46	2.51	2.56	2.60	2.64	2.68	2.72	2 76	2.80	2.84	2.87	2.91	2.94	2.98	3.01
	1.00	2.36	2.39	2.43	2.46	2.48	2.54	2.59	2.64	2.69	2.73	2.77	2.82	2.86	2.90	2.94	2.97	3.01	3 05	3.08	3.12
	1.1	2.51	2.55	2.58	2.62	2.65	2.71	2.76	2.82	2.87	2.92	2.97	3 01	3.06	3.10	3.15	3.19	3.23	3.27	3.31	3 35
	1.2	2.69	2.72	2.76	2.79	2.83	2.89	2.95	3.01	3.07	3.12	3.17	3.22	3.27	3.32	3.37	3.42	3.46	3.51	3.55	3.59
	1.3	2.87	2.91	2.95	2.98	3.02	3.09	3.15	3.21	3.27	3.33	3.39	3.44	3.49	3.55	3.60	3.65	3.70	3.74	3.79	3.84
	1.4	3.07	3.11	3.14	3.18	3.22	3.29	3.36	3.42	3.48	3.55	3.61	3.66	3.72	3.78	3.83	3.89	3.94	3 99	4.04	4.09
	1.5	3.27	3.31	3.35	3.38	3.42	3.50	3.57	3.63	3.70	3 77	3.83	3.89	3.95	4.01	4.07	4.13	4.18	4.24	4.29	4.35
	1.6	3.47	3.51	3.55	3.59	3.63	3.71	3.78	3.85	3.92	3.99	4.07	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.43	4 49	4.55	4.61
	1.7	3.67	3.72	3.76	3.80	3.84	3.92	4.00	4.07	4.14	4.22	4.29	4.36	4.42	4.49	4.55	4.62	4.68	4.74	4.81	4.87
	1.8	3.88	3.92	3.97	4.01	4.05	4.13	4.21	4.29	4.37	4.44	4.52	4.59	4.66	4.73	4.80	4.87	4.93	5.00	5.07	5.13
	1.9	4.09	4.13	4.18	4.22	4.26	4.35	4.43	4.51	4.59	4.67	4.75	4.83	4.90	4.98	5.05	5.12	5.19	5.26	5.33	5.39
	2.0	4.29	4.34	4.39	4.43	4.48	4.57	4.65	4.74	4.82	4.90	4.99	5.07	5.14	5.22	5.30	5.37	5.44	5.52	5.59	5.66
	2.1	4.50	4.55	4.60	4.65	4.69	4.78	4.87	4.96	5.05	5.14	5.22	5.30	5.39	5.47	5.55	5.62	5.70	5.78	5.85	5.93
	2.2	4.71	4.76	4.81	4.86	4.91	5.00	5.10	5.19	5.28	5.37	5.46	5.54	5.63	5.71	5.80	5.88	5.96	6.04	6.12	6.19
	2.3	4.92	4.97	5.02	5.07	5.12	5.22	5.32	5.42	5.51	5.60	5.69	5.78	5.87	5.96	6.05	6.13	6.22	6.30	6.38	6.46
	2.4	5.13	5.18	5.24	5.29	5.34	5.44	5.54	5.64	5.74	5.84	5.93	6.03	6.12	6.21	6.30	6.39	6.47	6.56	6.65	6.73
	2.5	5.34	5.39	5.45	5.50	5.56	5.66	5.77	5.87	5.97	6.07	6.17	6.27	6.36	6.46	6.55	6.64	6.73	6.82	6.91	7.00
	2.6	5.55	5.61	5.66	5.72	5.77	5.88	5.99	6.10	6.20	6.31	6.41	6.51	6.61	6.71	6.80	6.90	6.99	7.09	7.18	7.27
	2.7	5.76	5.82	5.88	5.93	5.99	6.10	6.22	6.33	6.43	6.54	6.65	6.75	6.85	6.96	7.06	7.16	7.25	7.35	7.45	7.54
	2.8	5.97	6.03	6.09	6.15	6.21	6.33	6.44	6.55	6.67	6.78	6.89	6.99	7.10	7.21	7.31	7.41	7.51	7.61	7.71	7.81
	2.9	6.18	6.24	6.30	6.37	6.43	6.55	6.67	6.78	6.90	7.01	7.13	7.24	7.35	7.46	7.56	7.67	7.77	7.88	7.98	8.08
	3.0	6.39	6.45	6.52	6.58	6.64	6.77	6.89	7.01	7.13	7.25	7.37	7.48	7.59	7.71	7.82	7.93	8.04	8.14	8.25	8.35



$K_1 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2}{H_1}$;

$\eta_1 = \frac{H_1}{H_2}\sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}}$;

N_1—上段柱的轴心力；

N_2—下段柱的轴心力；

续表

η_1 \ K_1	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0.20	2.04	2.04	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.07	2.07	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.16
0.25	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.16	2.17	2.18	2.19	2.21	2.22	2.23	2.25	2.26
0.30	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19	2.21	2.23	2.25	2.26	2.28	2.30	2.32	2.34	2.35	2.37
0.35	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.19	2.20	2.21	2.23	2.24	2.25	2.26	2.29	2.31	2.34	2.36	2.39	2.41	2.44	2.46	2.48	2.51
0.40	2.16	2.18	2.20	2.21	2.23	2.25	2.27	2.28	2.30	2.32	2.33	2.35	2.38	2.41	2.44	2.48	2.51	2.54	2.57	2.60	2.63	2.66
0.45	2.21	2.23	2.25	2.28	2.30	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.42	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.68	2.71	2.75	2.79	2.82
0.50	2.27	2.29	2.32	2.35	2.37	2.40	2.43	2.45	2.48	2.50	2.53	2.55	2.60	2.65	2.69	2.74	2.79	2.83	2.87	2.92	2.96	3.00
0.55	2.33	2.36	2.40	2.43	2.46	2.49	2.52	2.55	2.58	2.61	2.64	2.67	2.73	2.78	2.84	2.89	2.94	2.99	3.04	3.09	3.14	3.19
0.60	2.40	2.44	2.48	2.52	2.55	2.59	2.63	2.66	2.70	2.73	2.76	2.80	2.86	2.92	2.99	3.05	3.10	3.16	3.22	3.27	3.33	3.38
0.65	2.48	2.53	2.57	2.61	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.85	2.89	2.93	3.00	3.07	3.14	3.21	3.28	3.34	3.40	3.46	3.52	3.58
0.70	2.57	2.62	2.67	2.72	2.76	2.81	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.07	3.15	3.23	3.30	3.38	3.45	3.52	3.59	3.66	3.73	3.79
0.75	2.66	2.72	2.77	2.83	2.88	2.93	2.98	3.03	3.08	3.12	3.17	3.22	3.30	3.39	3.47	3.55	3.63	3.71	3.79	3.86	3.93	4.00
0.80	2.76	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	3.11	3.16	3.22	3.27	3.32	3.37	3.46	3.55	3.64	3.73	3.82	3.90	3.98	4.06	4.14	4.22
0.85	2.87	2.93	3.00	3.06	3.13	3.18	3.24	3.30	3.36	3.41	3.47	3.52	3.62	3.72	3.82	3.91	4.01	4.10	4.18	4.27	4.35	4.44
0.90	2.98	3.05	3.12	3.19	3.25	3.32	3.38	3.44	3.50	3.56	3.62	3.68	3.79	3.90	4.00	4.10	4.20	4.29	4.39	4.48	4.57	4.66
0.95	3.09	3.17	3.24	3.32	3.39	3.45	3.52	3.59	3.65	3.72	3.78	3.84	3.96	4.07	4.18	4.29	4.39	4.49	4.59	4.69	4.79	4.88
1.00	3.21	3.29	3.37	3.45	3.52	3.59	3.67	3.74	3.80	3.87	3.94	4.00	4.13	4.25	4.36	4.48	4.59	4.70	4.80	4.90	5.01	5.10
1.1	3.45	3.54	3.63	3.71	3.80	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19	4.26	4.33	4.47	4.60	4.74	4.86	4.98	5.10	5.22	5.34	5.45	5.56
1.2	3.70	3.80	3.90	3.99	4.08	4.17	4.26	4.34	4.43	4.51	4.59	4.67	4.82	4.97	5.11	5.25	5.39	5.52	5.65	5.77	5.90	6.02
1.3	3.95	4.06	4.17	4.27	4.37	4.47	4.56	4.66	4.75	4.84	4.92	5.01	5.18	5.34	5.49	5.65	5.79	5.94	6.08	6.21	6.35	6.48
1.4	4.21	4.33	4.45	4.56	4.66	4.77	4.87	4.97	5.07	5.17	5.26	5.36	5.54	5.71	5.88	6.04	6.20	6.36	6.51	6.66	6.80	6.94
1.5	4.48	4.60	4.73	4.85	4.96	5.07	5.19	5.29	5.40	5.50	5.60	5.70	5.90	6.08	6.27	6.44	6.61	6.78	6.94	7.10	7.26	7.41
1.6	4.74	4.88	5.01	5.14	5.26	5.38	5.50	5.62	5.73	5.84	5.95	6.05	6.26	6.46	6.65	6.84	7.03	7.20	7.38	7.55	7.71	7.88
1.7	5.01	5.16	5.30	5.43	5.56	5.69	5.82	5.94	6.06	6.18	6.29	6.41	6.63	6.84	7.05	7.25	7.44	7.63	7.82	8.00	8.17	8.35
1.8	5.29	5.44	5.58	5.73	5.87	6.00	6.14	6.26	6.39	6.52	6.64	6.76	6.99	7.22	7.44	7.65	7.86	8.06	8.26	8.45	8.64	8.82
1.9	5.56	5.72	5.87	6.02	6.17	6.31	6.45	6.59	6.73	6.86	6.99	7.11	7.36	7.60	7.83	8.06	8.27	8.49	8.70	8.90	9.10	9.29
2.0	5.83	6.00	6.16	6.32	6.48	6.63	6.78	6.92	7.06	7.20	7.34	7.47	7.73	7.98	8.23	8.46	8.69	8.92	9.14	9.35	9.56	9.76
2.1	6.11	6.28	6.45	6.62	6.78	6.94	7.10	7.25	7.40	7.54	7.69	7.83	8.10	8.37	8.62	8.87	9.11	9.35	9.58	9.80	10.02	10.24
2.2	6.38	6.57	6.75	6.92	7.09	7.26	7.42	7.58	7.74	7.89	8.04	8.19	8.47	8.75	9.02	9.28	9.53	9.78	10.02	10.26	10.49	10.71
2.3	6.66	6.85	7.04	7.22	7.40	7.57	7.74	7.91	8.07	8.23	8.39	8.54	8.84	9.13	9.41	9.69	9.95	10.21	10.46	10.71	10.95	11.19
2.4	6.94	7.14	7.33	7.52	7.71	7.89	8.07	8.24	8.41	8.58	8.74	8.90	9.22	9.52	9.81	10.10	10.37	10.64	10.91	11.17	11.42	11.66
2.5	7.21	7.42	7.63	7.82	8.02	8.21	8.39	8.57	8.75	8.92	9.09	9.26	9.59	9.90	10.21	10.51	10.80	11.08	11.35	11.62	11.88	12.14
2.6	7.49	7.71	7.92	8.13	8.33	8.52	8.72	8.90	9.09	9.27	9.45	9.62	9.96	10.29	10.61	10.92	11.22	11.51	11.80	12.08	12.35	12.62
2.7	7.77	8.00	8.22	8.43	8.64	8.84	9.04	9.24	9.43	9.62	9.80	9.98	10.33	10.68	11.01	11.33	11.64	11.94	12.24	12.53	12.81	13.09
2.8	8.05	8.28	8.51	8.73	8.95	9.16	9.37	9.57	9.77	9.96	10.16	10.34	10.71	11.06	11.41	11.74	12.06	12.38	12.69	12.99	13.28	13.57
2.9	8.33	8.57	8.81	9.04	9.26	9.48	9.69	9.90	10.11	10.31	10.51	10.70	11.08	11.45	11.80	12.15	12.49	12.81	13.13	13.44	13.75	14.05
3.0	8.61	8.86	9.10	9.34	9.57	9.80	10.02	10.24	10.45	10.66	10.86	11.07	11.46	11.84	12.20	12.56	12.91	13.25	13.58	13.90	14.22	14.52

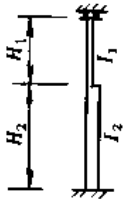
注：表中的计算长度系数 μ 值系按右式算得：

$$K_1\eta_1 \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi\eta_1}{\mu} \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi}{\mu} - 1 = 0$$

(4) 柱上端可移动但不转动的单阶柱下段的计算长度系数 μ

表 15-4

简 图



$$K_1=\frac{I_1}{I_2}\cdot\frac{H_2}{H_1};$$

$$\eta_1=\frac{H_1}{H_2}\sqrt{\frac{N_1}{N_2}\cdot\frac{I_2}{I_1}};$$

式中 N_1—上段柱的轴心力；

N_2—下段柱的轴心力。

η_1 \ K_1	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
0.20	1.96	1.95	1.94	1.93	1.93	1.91	1.90	1.89	1.88	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76
0.25	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.79	1.78	1.77
0.30	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92	1.91	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.78	1.77
0.35	1.96	1.95	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90	1.89	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.80	1.79	1.78
0.40	1.96	1.95	1.95	1.94	1.94	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.80	1.79
0.45	1.96	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92	1.90	1.89	1.88	1.87	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.80
0.50	1.96	1.96	1.95	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.81
0.55	1.97	1.96	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.86	1.85	1.84	1.83	1.83	1.82
0.60	1.97	1.96	1.96	1.95	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90	1.90	1.89	1.88	1.87	1.87	1.86	1.85	1.85	1.84	1.83
0.65	1.97	1.97	1.96	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92	1.91	1.91	1.90	1.89	1.88	1.88	1.87	1.87	1.86	1.85	1.85
0.70	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92	1.92	1.91	1.90	1.90	1.89	1.89	1.88	1.87	1.87	1.86
0.75	1.98	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.93	1.92	1.92	1.91	1.91	1.90	1.90	1.89	1.89	1.88
0.80	1.98	1.98	1.98	1.97	1.97	1.96	1.96	1.95	1.95	1.94	1.94	1.93	1.93	1.93	1.92	1.92	1.91	1.91	1.91	1.90
0.85	1.99	1.98	1.98	1.98	1.98	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.94	1.94	1.94	1.93	1.93	1.93	1.92
0.90	1.99	1.99	1.99	1.98	1.98	1.98	1.98	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95
0.95	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.97	1.97	1.97
1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
1.1	2.01	2.01	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03	2.04	2.04	2.04	2.04	2.05	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.06
1.2	2.03	2.03	2.04	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.10	2.11	2.11	2.12	2.12	2.13	2.13
1.3	2.05	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.16	2.17	2.18	2.19	2.19	2.20	2.21
1.4	2.07	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.14	2.16	2.17	2.18	2.20	2.21	2.22	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29
1.5	2.10	2.11	2.12	2.14	2.15	2.17	2.19	2.21	2.23	2.25	2.26	2.28	2.29	2.31	2.32	2.34	2.35	2.36	2.37	2.38
1.6	2.13	2.15	2.16	2.18	2.19	2.22	2.25	2.27	2.30	2.32	2.34	2.36	2.37	2.39	2.41	2.42	2.44	2.45	2.47	2.48
1.7	2.17	2.19	2.21	2.23	2.25	2.28	2.31	2.34	2.37	2.39	2.42	2.44	2.46	2.48	2.50	2.52	2.53	2.55	2.57	2.58
1.8	2.22	2.25	2.27	2.29	2.31	2.35	2.39	2.42	2.45	2.48	2.50	2.53	2.55	2.57	2.59	2.61	2.63	2.65	2.67	2.69
1.9	2.28	2.31	2.34	2.36	2.38	2.42	2.46	2.50	2.53	2.56	2.59	2.62	2.65	2.67	2.69	2.72	2.74	2.76	2.78	2.80
2.0	2.35	2.38	2.41	2.43	2.46	2.50	2.55	2.59	2.62	2.66	2.69	2.72	2.75	2.77	2.80	2.82	2.85	2.87	2.89	2.91
2.1	2.42	2.46	2.49	2.51	2.54	2.59	2.63	2.68	2.71	2.75	2.78	2.82	2.85	2.88	2.90	2.93	2.95	2.98	3.00	3.02
2.2	2.51	2.54	2.57	2.60	2.63	2.68	2.73	2.77	2.81	2.85	2.89	2.92	2.95	2.98	3.01	3.04	3.07	3.09	3.12	3.14
2.3	2.59	2.63	2.66	2.69	2.72	2.77	2.82	2.87	2.91	2.95	2.99	3.03	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.23	3.26
2.4	2.68	2.72	2.75	2.78	2.81	2.87	2.92	2.97	3.01	3.05	3.09	3.13	3.17	3.20	3.24	3.27	3.30	3.33	3.35	3.38
2.5	2.77	2.81	2.84	2.87	2.91	2.96	3.02	3.07	3.11	3.16	3.20	3.24	3.28	3.31	3.35	3.38	3.41	3.44	3.47	3.50
2.6	2.87	2.90	2.94	2.97	3.00	3.06	3.12	3.17	3.22	3.27	3.31	3.35	3.39	3.43	3.46	3.50	3.53	3.56	3.59	3.62
2.7	2.97	3.00	3.04	3.07	3.10	3.16	3.22	3.28	3.33	3.37	3.42	3.46	3.50	3.54	3.58	3.62	3.65	3.68	3.72	3.75
2.8	3.06	3.10	3.14	3.17	3.20	3.27	3.33	3.38	3.43	3.48	3.53	3.58	3.62	3.66	3.70	3.73	3.77	3.80	3.84	3.87
2.9	3.16	3.20	3.24	3.27	3.31	3.37	3.43	3.49	3.54	3.59	3.64	3.69	3.73	3.78	3.82	3.85	3.89	3.93	3.96	3.99
3.0	3.26	3.30	3.34	3.37	3.41	3.47	3.54	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80	3.85	3.89	3.93	3.97	4.01	4.05	4.09	4.12

续表

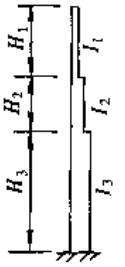
η_1 \ K_1	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0.20	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.62	1.60	1.59	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.46	1.45	1.43	1.42	1.40	1.39
0.25	1.75	1.73	1.71	1.69	1.67	1.65	1.64	1.62	1.61	1.60	1.58	1.57	1.55	1.53	1.51	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40
0.30	1.75	1.73	1.71	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.62	1.61	1.59	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.41
0.35	1.76	1.74	1.72	1.70	1.69	1.67	1.66	1.64	1.63	1.62	1.61	1.59	1.57	1.55	1.53	1.51	1.50	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43
0.40	1.77	1.75	1.73	1.72	1.70	1.68	1.67	1.66	1.64	1.63	1.62	1.61	1.59	1.57	1.55	1.53	1.52	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45
0.45	1.78	1.76	1.74	1.73	1.71	1.70	1.68	1.67	1.66	1.65	1.64	1.62	1.60	1.59	1.57	1.55	1.54	1.52	1.51	1.50	1.48	1.47
0.50	1.79	1.77	1.76	1.74	1.73	1.71	1.70	1.69	1.68	1.67	1.65	1.64	1.62	1.61	1.59	1.57	1.60	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50
0.55	1.80	1.79	1.77	1.76	1.74	1.73	1.72	1.71	1.70	1.69	1.68	1.67	1.65	1.63	1.62	1.60	1.59	1.58	1.56	1.55	1.54	1.53
0.60	1.82	1.80	1.79	1.78	1.76	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71	1.70	1.69	1.67	1.66	1.64	1.63	1.62	1.61	1.60	1.59	1.58	1.57
0.65	1.83	1.82	1.81	1.80	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.74	1.73	1.72	1.70	1.69	1.68	1.67	1.65	1.64	1.63	1.62	1.62	1.61
0.70	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.78	1.77	1.77	1.76	1.75	1.74	1.72	1.71	1.70	1.69	1.68	1.67	1.67	1.66	1.65
0.75	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.83	1.82	1.81	1.80	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.74	1.73	1.72	1.71	1.71	1.70
0.80	1.89	1.88	1.88	1.87	1.86	1.86	1.85	1.84	1.84	1.83	1.83	1.82	1.81	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.76	1.76	1.75
0.85	1.92	1.91	1.90	1.90	1.89	1.89	1.88	1.88	1.87	1.87	1.87	1.86	1.85	1.85	1.84	1.84	1.83	1.83	1.82	1.82	1.82	1.81
0.90	1.94	1.94	1.93	1.93	1.93	1.92	1.92	1.92	1.91	1.91	1.91	1.91	1.90	1.90	1.89	1.89	1.89	1.88	1.88	1.88	1.87	1.87
0.95	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.93
1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
1.1	2.07	2.07	2.08	2.08	2.08	2.09	2.09	2.09	2.10	2.10	2.10	2.10	2.11	2.11	2.12	2.12	2.12	2.13	2.13	2.13	2.14	2.14
1.2	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.18	2.19	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22	2.23	2.24	2.24	2.25	2.26	2.26	2.27	2.27	2.28	2.28
1.3	2.22	2.24	2.25	2.26	2.28	2.29	2.30	2.31	2.31	2.32	2.33	2.34	2.35	2.36	2.38	2.39	2.39	2.40	2.41	2.42	2.42	2.43
1.4	2.31	2.33	2.35	2.37	2.38	2.40	2.41	2.42	2.43	2.44	2.45	2.46	2.48	2.50	2.51	2.52	2.54	2.55	2.56	2.57	2.58	2.58
1.5	2.41	2.43	2.46	2.48	2.49	2.51	2.53	2.54	2.56	2.57	2.58	2.59	2.62	2.64	2.65	2.67	2.68	2.70	2.71	2.72	2.73	2.74
1.6	2.51	2.54	2.57	2.59	2.61	2.63	2.65	2.67	2.68	2.70	2.71	2.73	2.75	2.78	2.80	2.81	2.83	2.85	2.86	2.87	2.89	2.90
1.7	2.62	2.65	2.68	2.71	2.73	2.75	2.78	2.80	2.82	2.83	2.85	2.87	2.89	2.92	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02	3.03	3.05	3.06
1.8	2.73	2.76	2.80	2.83	2.85	2.88	2.91	2.93	2.95	2.97	2.99	3.00	3.04	3.07	3.09	3.11	3.14	3.16	3.17	3.19	3.21	3.22
1.9	2.84	2.88	2.92	2.95	2.98	3.01	3.04	3.06	3.08	3.11	3.12	3.15	3.18	3.21	3.24	3.27	3.29	3.31	3.33	3.35	3.37	3.38
2.0	2.96	3.00	3.04	3.08	3.11	3.14	3.17	3.20	3.22	3.25	3.27	3.29	3.33	3.36	3.39	3.42	3.45	3.47	3.49	3.51	3.53	3.55
2.1	3.07	3.12	3.16	3.20	3.24	3.27	3.30	3.33	3.36	3.39	3.41	3.43	3.47	3.51	3.54	3.57	3.60	3.63	3.65	3.67	3.69	3.71
2.2	3.20	3.25	3.29	3.33	3.37	3.41	3.44	3.47	3.50	3.53	3.55	3.58	3.62	3.66	3.70	3.73	3.76	3.79	3.81	3.83	3.86	3.88
2.3	3.32	3.37	3.42	3.46	3.50	3.54	3.58	3.61	3.64	3.67	3.70	3.72	3.77	3.81	3.85	3.89	3.92	3.95	3.97	4.00	4.02	4.04
2.4	3.44	3.50	3.55	3.59	3.64	3.68	3.72	3.75	3.78	3.82	3.84	3.87	3.92	3.97	4.01	4.04	4.08	4.11	4.14	4.16	4.18	4.21
2.5	3.56	3.62	3.68	3.73	3.77	3.82	3.86	3.89	3.93	3.96	3.99	4.02	4.07	4.12	4.16	4.20	4.24	4.27	4.30	4.33	4.35	4.37
2.6	3.69	3.75	3.81	3.86	3.91	3.95	4.00	4.03	4.07	4.11	4.14	4.17	4.22	4.27	4.32	4.36	4.40	4.43	4.46	4.49	4.52	4.54
2.7	3.82	3.88	3.94	4.00	4.05	4.09	4.14	4.18	4.22	4.25	4.29	4.32	4.38	4.43	4.47	4.52	4.56	4.59	4.62	4.65	4.68	4.71
2.8	3.94	4.01	4.07	4.13	4.18	4.23	4.28	4.32	4.36	4.40	4.43	4.47	4.53	4.58	4.63	4.68	4.72	4.75	4.79	4.82	4.85	4.88
2.9	4.07	4.14	4.21	4.27	4.32	4.37	4.42	4.46	4.51	4.55	4.58	4.62	4.68	4.74	4.79	4.84	4.88	4.93	4.95	4.98	5.02	5.04
3.0	4.20	4.27	4.34	4.40	4.46	4.51	4.56	4.61	4.65	4.69	4.73	4.77	4.83	4.89	4.95	4.99	5.04	5.08	5.12	5.15	5.18	5.21

注：表中的计算长度系数 μ 值系按右式算得：

$$\operatorname{tg}\frac{\pi\eta_1}{\mu} + K_1\eta_1 \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi}{\mu} = 0$$

(5) 柱上端为自由的双阶柱下段的计算长度系数 μ

简图	η_1	η_2	$K_1=0.05$ 当 K_2 为														
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	0.2	0.2	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14
		0.4	2.08	2.11	2.15	2.19	2.22	2.25	2.29	2.32	2.35	2.39	2.42	2.45	2.48	2.51	2.54
		0.5	2.13	2.19	2.25	2.30	2.35	2.41	2.46	2.51	2.56	2.61	2.65	2.70	2.75	2.79	2.83
		0.6	2.20	2.29	2.37	2.45	2.52	2.60	2.67	2.73	2.80	2.87	2.93	2.99	3.05	3.11	3.17
		0.7	2.30	2.42	2.52	2.63	2.72	2.82	2.91	2.99	3.07	3.15	3.23	3.31	3.38	3.46	3.53
		0.8	2.42	2.57	2.71	2.83	2.95	3.06	3.17	3.27	3.37	3.47	3.56	3.65	3.74	3.82	3.91
		0.9	2.57	2.75	2.91	3.06	3.19	3.32	3.45	3.57	3.68	3.79	3.90	4.00	4.10	4.20	4.30
		1.0	2.75	2.95	3.13	3.30	3.45	3.60	3.74	3.87	4.00	4.13	4.25	4.37	4.48	4.59	4.70
		1.2	3.13	3.38	3.60	3.80	4.00	4.18	4.35	4.51	4.67	4.82	4.97	5.12	5.25	5.39	5.52
	0.4	0.2	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.14	2.15
		0.4	2.10	2.14	2.17	2.20	2.24	2.27	2.31	2.34	2.37	2.40	2.43	2.47	2.50	2.53	2.56
		0.5	2.16	2.21	2.27	2.32	2.37	2.43	2.48	2.53	2.57	2.62	2.67	2.71	2.76	2.80	2.85
		0.6	2.24	2.32	2.40	2.47	2.54	2.62	2.68	2.75	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	3.12	3.18
		0.7	2.34	2.45	2.55	2.65	2.75	2.84	2.92	3.01	3.09	3.17	3.25	3.32	3.40	3.47	3.54
		0.8	2.47	2.60	2.73	2.85	2.97	3.08	3.19	3.29	3.38	3.48	3.57	3.66	3.75	3.83	3.92
		0.9	2.62	2.78	2.94	3.08	3.21	3.34	3.46	3.58	3.69	3.80	3.91	4.01	4.11	4.21	4.31
		1.0	2.79	2.98	3.15	3.32	3.47	3.62	3.75	3.89	4.02	4.14	4.26	4.38	4.49	4.60	4.71
		1.2	3.18	3.41	3.62	3.82	4.01	4.19	4.36	4.52	4.68	4.83	4.98	5.12	5.26	5.40	5.53
	0.6	0.2	2.09	2.09	2.10	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.15	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19
		0.4	2.17	2.19	2.22	2.25	2.28	2.31	2.34	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53	2.56	2.59
		0.5	2.23	2.27	2.32	2.37	2.42	2.47	2.51	2.56	2.61	2.66	2.70	2.75	2.79	2.83	2.88
		0.6	2.32	2.38	2.45	2.52	2.59	2.66	2.72	2.79	2.85	2.91	2.97	3.03	3.09	3.15	3.20
		0.7	2.43	2.51	2.61	2.70	2.79	2.87	2.96	3.04	3.12	3.20	3.27	3.35	3.42	3.49	3.56
		0.8	2.56	2.67	2.79	2.90	3.01	3.11	3.22	3.32	3.41	3.50	3.60	3.68	3.77	3.85	3.94
		0.9	2.71	2.85	2.99	3.12	3.25	3.37	3.49	3.61	3.72	3.83	3.93	4.03	4.13	4.23	4.32
		1.0	2.88	3.04	3.20	3.36	3.50	3.65	3.78	3.91	4.04	4.16	4.26	4.40	4.51	4.62	4.72
		1.2	3.26	3.46	3.66	3.86	4.04	4.22	4.38	4.55	4.70	4.85	5.00	5.14	5.28	5.41	5.54
	0.8	0.2	2.29	2.24	2.22	2.21	2.21	2.22	2.22	2.22	2.23	2.23	2.24	2.24	2.25	2.26	2.26
		0.4	2.37	2.34	2.34	2.36	2.38	2.40	2.43	2.45	2.48	2.51	2.54	2.56	2.59	2.62	2.65
		0.5	2.43	2.42	2.44	2.47	2.51	2.54	2.59	2.63	2.67	2.72	2.76	2.80	2.84	2.88	2.92
		0.6	2.52	2.52	2.56	2.61	2.67	2.73	2.79	2.85	2.91	2.96	3.02	3.08	3.13	3.19	3.24
		0.7	2.62	2.65	2.71	2.78	2.86	2.94	3.02	3.09	3.17	3.24	3.32	3.39	3.46	3.53	3.59
		0.8	2.74	2.79	2.88	2.98	3.08	3.17	3.27	3.36	3.46	3.55	3.63	3.72	3.80	3.89	3.97
		0.9	2.88	2.96	3.07	3.19	3.31	3.43	3.54	3.65	3.76	3.86	3.97	4.07	4.16	4.26	4.35
		1.0	3.04	3.15	3.28	3.42	3.56	3.69	3.82	3.95	4.07	4.19	4.31	4.42	4.53	4.64	4.75
		1.2	3.39	3.55	3.73	3.91	4.08	4.25	4.42	4.58	4.73	4.88	5.02	5.16	5.30	5.43	5.56
	1.0	0.2	2.69	2.57	2.51	2.48	2.46	2.45	2.45	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.45
		0.4	2.75	2.64	2.60	2.59	2.59	2.59	2.60	2.62	2.63	2.65	2.67	2.69	2.71	2.74	2.76
		0.5	2.80	2.70	2.68	2.68	2.69	2.71	2.74	2.77	2.80	2.83	2.87	2.90	2.94	2.97	3.01
		0.6	2.86	2.78	2.77	2.79	2.83	2.87	2.91	2.96	3.01	3.06	3.10	3.16	3.21	3.26	3.31
		0.7	2.94	2.89	2.90	2.94	2.99	3.05	3.12	3.19	3.25	3.32	3.39	3.45	3.52	3.58	3.65
		0.8	3.04	3.01	3.05	3.11	3.19	3.27	3.35	3.44	3.52	3.61	3.69	3.77	3.85	3.93	4.01
		0.9	3.16	3.15	3.22	3.31	3.41	3.51	3.61	3.72	3.82	3.92	4.02	4.11	4.21	4.30	4.39
		1.0	3.29	3.32	3.41	3.52	3.64	3.76	3.89	4.01	4.13	4.24	4.35	4.46	4.57	4.68	4.78
		1.2	3.60	3.69	3.83	3.99	4.15	4.31	4.47	4.62	4.77	4.92	5.06	5.19	5.33	5.46	5.59
	1.2	0.2	3.16	3.00	2.92	2.87	2.84	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.77	2.76	2.76	2.76	2.76
		0.4	3.21	3.05	2.98	2.94	2.92	2.90	2.90	2.90	2.90	2.91	2.92	2.93	2.94	2.95	2.96
		0.5	3.25	3.10	3.03	3.00	2.99	2.99	2.99	3.00	3.02	3.04	3.06	3.08	3.11	3.13	3.16
		0.6	3.30	3.15	3.10	3.08	3.08	3.10	3.12	3.15	3.18	3.22	3.26	3.30	3.34	3.38	3.42
		0.7	3.36	3.23	3.19	3.19	3.21	3.25	3.29	3.34	3.39	3.44	3.50	3.56	3.62	3.68	3.73
		0.8	3.43	3.32	3.30	3.33	3.37	3.43	3.49	3.56	3.63	3.71	3.78	3.86	3.93	4.01	4.08
		0.9	3.52	3.43	3.44	3.49	3.56	3.64	3.73	3.82	3.91	4.00	4.09	4.18	4.27	4.36	4.45
		1.0	3.62	3.57	3.60	3.68	3.77	3.87	3.98	4.09	4.20	4.31	4.42	4.52	4.63	4.73	4.83
		1.2	3.88	3.88	3.98	4.11	4.25	4.39	4.54	4.68	4.83	4.97	5.10	5.24	5.37	5.50	5.63
	1.4	0.2	3.66	3.46	3.36	3.29	3.25	3.23	3.20	3.19	3.18	3.17	3.16	3.15	3.15	3.14	3.14
		0.4	3.70	3.50	3.40	3.35	3.31	3.29	3.27	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.27
		0.5	3.73	3.53	3.44	3.39	3.36	3.34	3.34	3.33	3.34	3.34	3.35	3.36	3.37	3.39	3.40
		0.6	3.77	3.58	3.49	3.45	3.43	3.42	3.42	3.43	3.45	3.47	3.49	3.52	3.54	3.57	3.61
		0.7	3.82	3.63	3.56	3.53	3.52	3.53	3.55	3.57	3.61	3.64	3.68	3.73	3.77	3.82	3.87
		0.8	3.87	3.70	3.64	3.63	3.64	3.67	3.70	3.75	3.81	3.86	3.92	3.99	4.05	4.12	4.18
		0.9	3.94	3.79	3.75	3.75	3.79	3.84	3.90	3.97	4.04	4.12	4.20	4.28	4.36	4.45	4.53
		1.0	4.02	3.89	3.87	3.90	3.96	4.04	4.12	4.22	4.31	4.41	4.51	4.61	4.70	4.80	4.90
		1.2	4.23	4.15	4.19	4.27	4.39	4.51	4.64	4.77	4.91	5.04	5.17	5.30	5.43	5.50	5.67



$K_1=\frac{I_1}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_1}$；

$K_2=\frac{I_2}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_2}$；

$\eta_1=\frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_1}}$；

$\eta_2=\frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_2}}$；

N_1—上段柱的轴心力；

N_2—中段柱的轴心力；

N_3—下段柱的轴心力。

表 15-5

$K_1 = 0.10$

当 K_2 为

0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
2.03	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14
2.09	2.12	2.16	2.19	2.23	2.26	2.29	2.33	2.36	2.39	2.42	2.45	2.49	2.52	2.55
2.14	2.20	2.25	2.31	2.36	2.41	2.46	2.51	2.56	2.61	2.66	2.70	2.75	2.79	2.84
2.21	2.30	2.38	2.46	2.53	2.60	2.67	2.74	2.81	2.87	2.93	2.99	3.05	3.11	3.17
2.31	2.43	2.53	2.63	2.73	2.82	2.91	3.00	3.08	3.16	3.24	3.31	3.39	3.46	3.53
2.44	2.58	2.71	2.84	2.96	3.07	3.17	3.28	3.37	3.47	3.56	3.65	3.74	3.83	3.91
2.59	2.76	2.92	3.06	3.20	3.33	3.45	3.57	3.69	3.80	3.90	4.01	4.11	4.21	4.30
2.76	2.96	3.14	3.30	3.46	3.60	3.74	3.88	4.01	4.13	4.25	4.37	4.48	4.59	4.70
3.15	3.39	3.61	3.81	4.00	4.18	4.35	3.52	4.68	4.83	4.98	5.12	5.26	5.39	5.52
2.07	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.16	2.17
2.14	2.17	2.20	2.23	2.26	2.30	2.33	2.36	2.39	2.42	2.46	2.49	2.52	2.55	2.58
2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.64	2.69	2.74	2.78	2.82	2.87
2.28	2.36	2.43	2.50	2.57	2.64	2.71	2.77	2.84	2.90	2.96	3.02	3.08	3.14	3.20
2.39	2.49	2.59	2.68	2.77	2.86	2.95	3.03	3.11	3.19	3.27	3.34	3.41	3.48	3.55
2.53	2.65	2.77	2.88	3.00	3.10	3.21	3.31	3.40	3.50	3.59	3.68	3.76	3.85	3.93
2.68	2.83	2.97	3.11	3.24	3.36	3.48	3.60	3.71	3.82	3.93	4.03	4.13	4.23	4.32
2.85	3.02	3.19	3.34	3.49	3.64	3.77	3.91	4.03	4.16	4.28	4.39	4.50	4.61	4.72
3.24	3.45	3.65	3.85	4.03	4.21	4.38	4.54	4.70	4 85	4.99	5.14	5.27	5.41	5.54
2.22	2.19	2.18	2.17	2.18	2.18	2.19	2.19	2.20	2.20	2.21	2.22	2.23	2.23	2.24
2.31	2.30	2.31	2.33	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.49	2.52	2.55	2.58	2.61	2.64
2.39	2.38	2.41	2.45	2.49	2.53	2.58	2.62	2.67	2.71	2.75	2.80	2.84	2.88	2.92
2.48	2.49	2.54	2.60	2.66	2.72	2.78	2.84	2.90	2.96	3.02	3.08	3.13	3.19	3.25
2.59	2.63	2.70	2.78	2.86	2.94	3.01	3.09	3.17	3.24	3.32	3.39	3.46	3.53	3.60
2.72	2.78	2.87	2.97	3.07	3.17	3.27	3.36	3.46	3.55	3.64	3.72	3.81	3.89	3.97
2.87	2.96	3.07	3.19	3.31	3.43	3.54	3.65	3.76	3.87	3.97	4.07	4.17	4.26	4.36
3.04	3.15	3.28	3.42	3.56	3.70	3.83	3.95	4.08	4.20	4.31	4.43	4.54	4.65	4.75
3.40	3.56	3.74	3.91	4.09	4.26	4.42	4.58	4.73	4.88	5.03	5.17	5.30	5.44	5.57
2.63	2.49	2.43	2.40	2.38	2.37	2.37	2.36	2.36	2.37	2.37	2.37	2.37	2.38	2.38
2.71	2.59	2.55	2.54	2.54	2.55	2.57	2.59	2.61	2.63	2.65	2.67	2.70	2.72	2.75
2.78	2.67	2.64	2.64	2.66	2.69	2.72	2.76	2.79	2.83	2.86	2.90	2.94	2.98	3.01
2.86	2.76	2.76	2.78	2.82	2.86	2.91	2.96	3.01	3.07	3.12	3.17	3.22	3.27	3.32
2.95	2.88	2.90	2.94	3.00	3.06	3.13	3.20	3.27	3.33	3.40	3.47	3.54	3.60	3.67
3.06	3.02	3.06	3.13	3.20	3.29	3.37	3.46	3.54	3.63	3.71	3.79	3.87	3.95	4.03
3.19	3.18	3.24	3.33	3.43	3.53	3.63	3.74	3.84	3.94	4.04	4.13	4.23	4.32	4.41
3.33	3.35	3.44	3.55	3.67	3.79	3.90	4.03	4.15	4.26	4.37	4.48	4.59	4.70	4.80
3.65	3.73	3.86	4.02	4.18	4.34	4.49	4.64	4.79	4.94	5.08	5.21	5.35	5.48	5.60
3.18	2.95	2.84	2.77	2.73	2.70	2.68	2.67	2.66	2.65	2.65	2.65	2.64	2.64	2.64
3.24	3.03	2.93	2.88	2.85	2.84	2.84	2.84	2.85	2.86	2.87	2.88	2.90	2.92	2.93
3.29	3.09	3.00	2.96	2.95	2.95	2.96	2.98	3.00	3.02	3.05	3.08	3.11	3.14	3.17
3.36	3.16	3.09	3.07	3.08	3.09	3.12	3.15	3.19	3.23	3.27	3.32	3.36	3.40	3.45
3.43	3.26	3.21	3.20	3.23	3.27	3.31	3.36	3.42	3.48	3.53	3.59	3.65	3.71	3.77
3.52	3.37	3.34	3.36	3.41	3.46	3.53	3.60	3.67	3.75	3.82	3.90	3.97	4.04	4.12
3.62	3.50	3.49	3.54	3.61	3.69	3.77	3.86	3.95	4.04	4.13	4.22	4.31	4.40	4.48
3.74	3.64	3.67	3.74	3.83	3.93	4.03	4.14	4.25	4.35	4.46	4.56	4.67	4.77	4.87
4.00	3.97	4.05	4.17	4.31	4.45	4.59	4.73	4.87	5.01	5.14	5.28	5.41	5.53	5.66
3.77	3.47	3.32	3.23	3.17	3.12	3.09	3.07	3.05	3.04	3.03	3.02	3.01	3.00	3.00
3.82	3.53	3.39	3.31	3.26	3.22	3.20	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.20	3.20	3.21
3.86	3.58	3.44	3.37	3.33	3.31	3.30	3.30	3.30	3.31	3.32	3.34	3.36	3.38	3.40
3.91	3.64	3.51	3.45	3.42	3.42	3.42	3.43	3.45	3.48	3.50	3.53	3.57	3.60	3.64
3.97	3.71	3.60	3.56	3.54	3.55	3.57	3.60	3.64	3.68	3.73	3.77	3.82	3.87	3.92
4.04	3.80	3.71	3.68	3.69	3.72	3.76	3.81	3.86	3.92	3.98	4.05	4.11	4.18	4.24
4.12	3.90	3.83	3.83	3.86	3.91	3.97	4.04	4.11	4.19	4.27	4.35	4.43	4.51	4.59
4.21	4.02	3.97	3.99	4.05	4.12	4.20	4.29	4.39	4.48	4.58	4.67	4.77	4.86	4.96
4.43	4.30	4.31	4.38	4.48	4.60	4.72	4.85	4.98	5.11	5.24	5.36	5.49	5.61	5.73
4.37	4.01	3.82	3.71	3.63	3.58	3.54	3.51	3.49	3.47	3.45	3.44	3.43	3.42	3.41
4.41	4.06	3.88	3.77	3.70	3.66	3.63	3.60	3.59	3.58	3.57	3.56	3.56	3.56	3.56
4.44	4.10	3.92	3.82	3.76	3.72	3.70	3.68	3.67	3.67	3.67	3.68	3.68	3.69	3.70
4.48	4.15	3.98	3.89	3.83	3.80	3.79	3.78	3.79	3.80	3.81	3.83	3.85	3.87	3.89
4.53	4.20	4.05	3.97	3.93	3.91	3.91	3.92	3.94	3.96	3.99	4.02	4.06	4.09	4.13
4.59	4.28	4.13	4.07	4.04	4.04	4.06	4.08	4.12	4.16	4.21	4.26	4.31	4.36	4.42
4.66	4.36	4.23	4.19	4.18	4.20	4.23	4.28	4.33	4.39	4.46	4.52	4.59	4.66	4.74
4.74	4.45	4.35	4.32	4.34	4.38	4.43	4.50	4.58	4.66	4.74	4.82	4.91	4.99	5.08
4.92	4.69	4.63	4.65	4.72	4.80	4.90	5.10	5.13	5.24	5.36	5.48	5.59	5.71	5.82

简图	η_1	η_2	$K_1=0.15$ 当 K_2 为														
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	0.2	0.2	2.03	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.14
		0.4	2.09	2.13	2.16	2.20	2.23	2.26	2.30	2.33	2.36	2.40	2.43	2.46	2.49	2.52	2.55
		0.5	2.15	2.20	2.26	2.31	2.37	2.42	2.47	2.52	2.57	2.62	2.66	2.71	2.75	2.80	2.84
		0.6	2.22	2.31	2.39	2.46	2.54	2.61	2.68	2.75	2.81	2.88	2.94	3.00	3.06	3.12	3.17
		0.7	2.32	2.43	2.54	2.64	2.74	2.83	2.92	3.00	3.08	3.16	3.24	3.32	3.39	3.46	3.53
		0.8	2.45	2.59	2.72	2.85	2.96	3.07	3.18	3.28	3.38	3.47	3.57	3.66	3.74	3.83	3.91
		0.9	2.60	2.77	2.93	3.07	3.21	3.33	3.46	3.58	3.69	3.80	3.91	4.01	4.11	4.21	4.30
		1.0	2.77	2.97	3.14	3.31	3.46	3.61	3.75	3.88	4.01	4.14	4.26	4.37	4.49	4.60	4.71
		1.2	3.16	3.40	3.61	3.82	4.01	4.19	4.36	4.52	4.68	4.83	4.98	5.12	5.26	5.39	5.53
	0.4	0.2	2.10	2.10	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.18	2.19
		0.4	2.18	2.20	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.45	2.45	2.48	2.51	2.54	2.57	2.60
		0.5	2.25	2.29	2.33	2.38	2.43	2.48	2.53	2.57	2.62	2.67	2.71	2.76	2.80	2.84	2.89
		0.6	2.34	2.40	2.46	2.53	2.60	2.67	2.73	2.80	2.86	2.92	2.98	3.04	3.10	3.16	3.21
		0.7	2.45	2.53	2.62	2.71	2.80	2.89	2.97	3.05	3.13	3.21	3.28	3.36	3.43	3.50	3.57
		0.8	2.59	2.69	2.80	2.92	3.02	3.13	3.23	3.33	3.42	3.52	3.61	3.69	3.78	3.86	3.94
		0.9	2.74	2.87	3.00	3.14	3.26	3.39	3.51	3.62	3.73	3.84	3.94	4.04	4.14	4.24	4.33
		1.0	2.92	3.06	3.22	3.37	3.52	3.66	3.79	3.92	4.05	4.17	4.29	4.40	4.52	4.63	4.73
		1.2	3.29	3.49	3.68	3.87	4.05	4.23	4.40	4.56	4.71	4.86	5.01	5.15	5.29	5.42	5.55
	0.6	0.2	2.39	2.30	2.27	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.26	2.26	2.27	2.28	2.28	2.29	2.29
		0.4	2.48	2.41	2.40	2.41	2.43	2.45	2.47	2.50	2.53	2.55	2.58	2.61	2.63	2.66	2.69
		0.5	2.56	2.50	2.51	2.53	2.57	2.60	2.64	2.68	2.72	2.76	2.80	2.85	2.89	2.93	2.97
		0.6	2.65	2.61	2.64	2.68	2.73	2.79	2.84	2.90	2.96	3.01	3.07	3.12	3.18	3.23	3.29
		0.7	2.76	2.75	2.79	2.85	2.92	3.00	3.07	3.15	3.22	3.29	3.36	3.43	3.50	3.57	3.63
		0.8	2.89	2.90	2.96	3.05	3.14	3.23	3.32	3.41	3.50	3.59	3.68	3.76	3.84	3.92	4.00
		0.9	3.03	3.07	3.16	3.26	3.37	3.48	3.59	3.70	3.80	3.91	4.01	4.10	4.20	4.29	4.39
		1.0	3.16	3.25	3.36	3.49	3.62	3.75	3.87	4.00	4.12	4.23	4.35	4.46	4.57	4.68	4.78
		1.2	3.54	3.65	3.81	3.97	4.14	4.30	4.46	4.62	4.77	4.91	5.06	5.19	5.33	5.46	5.59
	0.8	0.2	2.95	2.73	2.63	2.57	2.54	2.52	2.51	2.50	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
		0.4	3.03	2.83	2.74	2.71	2.69	2.69	2.70	2.71	2.73	2.74	2.76	2.78	2.80	2.82	2.84
		0.5	3.09	2.90	2.83	2.81	2.81	2.83	2.85	2.87	2.90	2.93	2.97	3.00	3.03	3.07	3.10
		0.6	3.17	3.00	2.95	2.94	2.96	2.99	3.03	3.07	3.12	3.16	3.21	3.26	3.31	3.35	3.40
		0.7	3.25	3.11	3.08	3.09	3.13	3.18	3.24	3.30	3.36	3.42	3.49	3.55	3.61	3.67	3.74
		0.8	3.36	3.24	3.23	3.27	3.33	3.40	3.47	3.55	3.63	3.71	3.79	3.86	3.94	4.02	4.09
		0.9	3.47	3.38	3.40	3.46	3.54	3.63	3.73	3.82	3.92	4.01	4.10	4.20	4.29	4.38	4.46
		1.0	3.60	3.54	3.59	3.67	3.77	3.88	4.00	4.11	4.22	4.33	4.44	4.54	4.65	4.75	4.85
		1.2	3.90	3.90	4.00	4.13	4.27	4.42	4.56	4.71	4.85	4.99	5.13	5.26	5.39	5.52	5.65
	1.0	0.2	3.61	3.29	3.13	3.03	2.97	2.92	2.89	2.87	2.85	2.84	2.83	2.82	2.82	2.81	2.81
		0.4	3.67	3.36	3.21	3.13	3.09	3.06	3.04	3.04	3.03	3.04	3.04	3.05	3.06	3.08	3.09
		0.5	3.72	3.42	3.28	3.21	3.18	3.16	3.16	3.17	3.18	3.19	3.21	3.24	3.26	3.28	3.31
		0.6	3.78	3.49	3.37	3.32	3.30	3.30	3.31	3.33	3.36	3.39	3.42	3.46	3.50	3.54	3.58
		0.7	3.85	3.58	3.48	3.44	3.44	3.46	3.49	3.53	3.57	3.62	3.67	3.72	3.78	3.83	3.88
		0.8	3.93	3.69	3.60	3.59	3.61	3.64	3.70	3.75	3.81	3.88	3.95	4.01	4.08	4.15	4.22
		0.9	4.02	3.80	3.74	3.75	3.79	3.85	3.92	4.00	4.08	4.16	4.24	4.33	4.41	4.49	4.58
		1.0	4.13	3.94	3.90	3.94	4.00	4.08	4.17	4.27	4.36	4.46	4.56	4.66	4.76	4.85	4.95
		1.2	4.37	4.24	4.26	4.35	4.46	4.58	4.71	4.84	4.97	5.10	5.23	5.36	5.48	5.61	5.73
	1.2	0.2	4.29	3.89	3.67	3.54	3.46	3.40	3.35	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	3.22	3.21
		0.4	4.34	3.95	3.74	3.62	3.55	3.50	3.47	3.44	3.43	3.42	3.41	3.41	3.41	3.42	3.42
		0.5	4.38	3.99	3.80	3.69	3.62	3.58	3.56	3.54	3.54	3.54	3.55	3.56	3.57	3.58	3.60
		0.6	4.43	4.05	3.87	3.77	3.72	3.69	3.68	3.68	3.68	3.70	3.72	3.74	4.77	3.79	3.82
		0.7	4.48	4.12	3.95	3.87	3.83	3.82	3.82	3.84	3.86	3.89	3.93	3.96	4.00	4.05	4.09
		0.8	4.55	4.20	4.05	3.99	3.96	3.97	4.00	4.03	4.07	4.12	4.17	4.22	4.28	4.35	4.40
		0.9	4.62	4.30	4.17	4.12	4.12	4.15	4.19	4.24	4.30	4.37	4.44	4.51	4.58	4.65	4.73
		1.0	4.71	4.41	4.30	4.28	4.30	4.35	4.41	4.48	4.56	4.64	4.73	4.82	5.91	4.99	5.08
		1.2	4.91	4.66	4.61	4.63	4.70	4.80	4.90	5.01	5.13	5.25	5.36	5.48	5.60	5.72	5.83
	1.4	0.2	4.98	4.50	4.24	4.08	3.97	3.90	3.84	3.80	3.76	3.73	3.71	3.69	3.68	3.66	3.65
		0.4	5.02	4.55	4.30	4.15	4.05	3.98	3.93	3.90	3.87	3.85	3.84	3.83	3.82	3.82	3.81
		0.5	5.06	4.59	4.34	4.20	4.11	4.05	4.00	3.98	3.96	3.95	3.94	3.94	3.94	3.95	3.95
		0.6	5.10	4.63	4.40	4.26	4.18	4.13	4.10	4.08	4.07	4.07	4.08	4.09	4.10	4.12	4.13
		0.7	5.14	4.69	4.47	4.34	4.27	4.23	4.22	4.21	4.22	4.23	4.25	4.27	4.30	4.33	4.36
		0.8	5.20	4.76	4.55	4.44	4.38	4.36	4.36	4.37	4.39	4.42	4.45	4.49	4.53	4.58	4.63
		0.9	5.26	4.84	4.65	4.55	4.51	4.51	4.52	4.55	4.59	4.63	4.69	4.74	4.80	4.86	4.93
		1.0	5.33	4.93	4.75	4.68	4.66	4.67	4.71	4.76	4.81	4.88	4.95	5.02	5.10	5.18	5.25
		1.2	5.50	5.14	5.01	4.99	5.01	5.07	5.14	5.23	5.33	5.43	5.54	5.64	5.75	5.86	5.97

$K_1=\frac{I_1}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_1}$；

$K_2=\frac{I_2}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_2}$；

$\eta_1=\frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_1}}$；

$\eta_2=\frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_2}}$；

N_1—上段柱的轴心力；

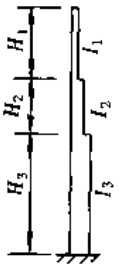
N_2—中段柱的轴心力；

N_3—下段柱的轴心力。

续表

$K_1=0.20$ 当 K_2 为														
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15
2.10	2.13	2.17	2.20	2.24	2.27	2.30	2.34	2.37	2.40	2.43	2.46	2.50	2.53	2.56
2.15	2.21	2.27	2.32	2.37	2.42	2.47	2.52	2.57	2.62	2.67	2.71	2.76	2.80	2.85
2.23	2.31	2.39	2.47	2.54	2.61	2.68	2.75	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	3.12	3.18
2.33	2.44	2.55	2.65	2.74	2.83	2.92	3.01	3.09	3.17	3.25	3.32	3.40	3.47	4.54
2.46	2.60	2.73	2.85	2.97	3.08	3.18	3.29	3.38	3.48	3.57	3.66	3.75	3.83	3.92
2.61	2.78	2 93	3.08	3.21	3.34	3.46	3.58	3.69	3.80	3.91	4.01	4.11	4.21	4.71
2.79	2.98	3.15	3.32	3.47	3.61	3.75	3.89	4 02	4.14	4.26	4.38	4.49	4.60	4.31
3.18	3.41	3.62	3.82	4.01	4.19	4.36	4.52	4.68	4.83	4.98	5.12	5.26	5.40	5.53
2.15	2.13	2.13	2.14	2.14	2.15	2.15	2.16	2.17	2.17	2.18	2.19	2.20	2.20	2.21
2.24	2.24	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53	2.56	2.59	2.62
2.31	2.33	2.37	2.41	2.46	2.50	2.55	2.60	2.64	2.69	2.73	2.78	2.82	2.86	2.90
2.40	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69	2.76	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	3.12	3.18	3.23
2.52	2.58	2.66	2.74	2.83	2.91	2.99	3.07	3.15	3.23	3.30	3.38	3.45	3.52	3.59
2.66	2.74	2.84	2.95	3.05	3.15	3.25	3.35	3.44	3.53	3.62	3.71	3.79	3.88	4.00
2.81	2.91	3.04	3.17	3.29	3.41	3.53	3.64	3.75	3.85	3.96	4.06	4.16	4.25	4.35
2.98	3.12	3.25	3.40	3.54	3.68	3.81	3.94	4.07	4.19	4.30	4.42	4.53	4.64	4.74
3.35	3.53	3.71	3.90	4.08	4.25	4.41	4.57	4.73	4.87	5.02	5.16	5.30	5.43	5.56
2.57	2.42	2.37	2.34	2.33	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.33	2.33	2.34	2.34	2.35
2.67	2.54	2.50	2.50	2.51	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.63	2.66	2.68	2.71	2.74
2.74	2.63	2.61	2.62	2.64	2.67	2.71	2.74	2.78	2.82	2.86	2.90	2.93	2.97	3.01
2.83	2.74	2.73	2.76	2.80	2.85	2.90	2.96	3.01	3.06	3.12	3.17	3.22	3.27	3.33
2.93	2.87	2.89	2.93	2.99	3.06	3.13	3.20	3.27	3.34	3.41	3.47	3.54	3.61	3.67
3.06	3.01	3.05	3.12	3.20	3.29	3.38	3.46	3.55	3.63	3.72	3.80	3.88	3.96	4.04
3.19	3.18	3.24	3.33	3.43	3.54	3.64	3.74	3.84	3.94	4.04	4.14	4.23	4.33	4.42
3.34	3.35	3.44	3.56	3.68	3.80	3.92	4.04	4.15	4.27	4.38	4.49	4.60	4.70	4.81
3.67	3.74	3.88	4.03	4.19	4.35	4.50	4.65	4.80	4.94	5.08	5.22	5.35	5.49	5.61
3.25	2.96	2.82	2.74	2.69	2.66	2.64	2.62	2.61	2.61	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
3.33	3.05	2.93	2.87	2.84	2.83	2.83	2.83	2.84	2.85	2.87	2.88	2.90	2.92	2.94
3.38	3.13	3.02	2.97	2.96	2.96	2.97	2.99	3.01	3.04	3.06	3.09	3.12	3.16	3.19
3.45	3.21	3.12	3.10	3.10	3.12	3.14	3.18	3.22	3.26	3.30	3.34	3.39	3.43	3.48
3.53	3.32	3.25	3.24	3.26	3.30	3.35	3.40	3.45	3.51	3.57	3.63	3.69	3.74	3.80
3.63	3.44	3.39	3.41	3.45	3.51	3.57	3.64	3.71	3.79	3.86	3.93	4.01	4.08	4.15
3.74	3.58	3.56	3.59	3.66	3.73	3.82	3.90	3.99	4.08	4.17	4.26	4.35	4.43	4.52
3.86	3.73	3.73	3.80	3.88	3.98	4.08	4.18	4.29	4.39	4.50	4.60	4.70	4.80	4.90
4.13	4.07	4.13	4.24	4.36	4.50	4.64	4.78	4.91	5.05	5.18	5.31	5.44	5.57	5.69
4.00	3.60	3.39	3.26	3.18	3.13	3.08	3.05	3.03	3.01	3.00	2.99	2.98	2.97	2.96
4.06	3.67	3.48	3.37	3.30	3.26	3.23	3.21	3.21	3.20	3.20	3.21	3.21	3.22	3.23
4.10	3.72	3.54	3.44	3.39	3.36	3.34	3.34	3.34	3.35	3.37	3.38	3.40	3.42	3.44
4.15	3.79	3.63	3.54	3.50	3.48	3.49	3.50	3.51	3.54	3.57	3.60	3.63	3.66	3.70
4.22	3.88	3.73	3.66	3.64	3.64	3.66	3.68	3.72	3.76	3.80	3.85	3.90	3.94	3.99
4.29	3.97	3.84	3.80	3.79	3.81	3.85	3.90	3.95	4.01	4.07	4.13	4.19	4.25	4.32
4.38	4.08	3.98	3.95	3.97	4.01	4.07	4.13	4.20	4.28	4.35	4.43	4.51	4.59	4.67
4.48	4.21	4.13	4.13	4.17	4.23	4.31	4.39	4.48	4.57	4.66	4.75	4.85	4.94	5.03
4.70	4.49	4.47	4.52	4.60	4.71	4.82	4.94	5.07	5.19	5.31	5.44	5.56	5.68	5.80
4.76	4.26	4.00	3.83	3.72	3.65	3.59	3.54	3.51	3.48	3.46	3.44	3.42	3.41	3.40
4.81	4.32	4.07	3.91	3.82	3.75	3.70	3.67	3.65	3.63	3.62	3.61	3.61	3.61	3.61
4.84	4.37	4.12	3.98	3.89	3.83	3.79	3.77	3.75	3.75	3.75	3.75	3.76	3.77	3.78
4.89	4.43	4.19	4.05	3.98	3.93	3.91	3.89	3.89	3.90	3.91	3.93	3.95	3.97	4.00
4.94	4.49	4.27	4.15	4.09	4.05	4.04	4.05	4.06	4.08	4.11	4.14	4.17	4.21	4.25
5.00	4.57	4.36	4.26	4.21	4.20	4.21	4.23	4.26	4.30	4.34	4.39	4.43	4.49	4.54
5.07	4.66	4.47	4.39	4.36	4.37	4.39	4.43	4.48	4.54	4.60	4.66	4.72	4.79	4.86
5.15	4.76	4.59	4.53	4.53	4.55	4.60	4.66	4.73	4.80	4.88	4.96	5.04	5.12	5.20
5.34	5.00	4.88	4.87	4.91	4.98	5.07	5.17	5.27	5.38	5.49	5.60	5.71	5.82	5.93
5.53	4.94	4.62	4.42	4.29	4.19	4.12	4.06	4.02	3.98	3.95	3.92	3.90	3.89	3.87
5.57	4.99	4.68	4.49	4.36	4.27	4.21	4.16	4.13	4.10	4.08	4.06	4.05	4.04	4.04
5.60	5.02	4.72	4.54	4.42	4.34	4.28	4.24	4.22	4.20	4.18	4.18	4.17	4.17	4.17
5.64	5.07	4.78	4.60	4.49	4.42	4.38	4.35	4 33	4.32	4.32	4.32	4.33	4.34	4.35
5.68	5.13	4.84	4.68	4.58	4.52	4.49	4.47	4.47	4.47	4.48	4.50	4.52	4.54	4.57
5.74	5.19	4.92	4.77	4.69	4.64	4.62	4.62	4.63	4.65	4.67	4.70	4.74	4.78	4.82
5.80	5.27	5.01	4.88	4.81	4.78	4.78	4.79	4.82	4.86	4.90	4.94	5.00	5.05	5.11
5.86	5.35	5.12	5.00	4.95	4.94	4.96	4.99	5.03	5.09	5.15	5.21	5.28	5.35	5.42
6.02	5.55	5.36	5.29	5.28	5.31	5.37	5.44	5.52	5.61	5.71	5.81	5.90	6.01	6.11

简　图



$K_1 = \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_1}$；

$K_2 = \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_2}$；

$\eta_1 = \frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3} \cdot \frac{I_3}{I_1}}$；

$\eta_2 = \frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3} \cdot \frac{I_3}{I_2}}$；

N_1—上段柱的轴心力；

N_2—中段柱的轴心力；

N_3—下段柱的轴心力。

$K_1 = 0.25$

η_1	η_2	当 K_2 为 0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
0.2	0.2	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.10	2.11	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.15
	0.4	2.11	2.14	2.17	2.21	2.24	2.28	2.31	2.34	2.37	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53	2.56
	0.5	2.16	2.22	2.27	2.33	2.38	2.43	2.48	2.53	2.58	2.63	2.67	2.72	2.76	2.81	2.85
	0.6	2.24	2.32	2.40	2.48	2.55	2.62	2.69	2.76	2.82	2.89	2.95	3.01	3.07	3.13	3.18
	0.7	2.35	2.45	2.56	2.66	2.75	2.84	2.93	3.01	3.09	3.17	3.25	3.33	3.40	3.47	3.54
	0.8	2.48	2.61	2.74	2.86	2.97	3.08	3.19	3.29	3.39	3.48	3.58	3.66	3.75	3.84	3.92
	0.9	2.63	2.79	2.94	3.08	3.22	3.35	3.47	3.59	3.70	3.81	3.91	4.02	4.12	4.22	4.31
	1.0	2.80	2.99	3.16	3.32	3.47	3.62	3.76	3.89	4.02	4.14	4.26	4.38	4.49	4.60	4.71
	1.2	3.19	3.42	3.63	3.83	4.02	4.19	4.36	4.53	4.69	4.84	4.98	5.13	5.27	5.40	5.53
0.4	0.2	2.20	2.17	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.19	2.20	2.20	2.21	2.22	2.23	2.23
	0.4	2.30	2.28	2.30	2.32	2.35	2.37	2.40	2.43	2.46	2.49	2.52	2.55	2.58	2.61	2.64
	0.5	2.37	2.37	2.40	2.44	2.49	2.53	2.58	2.62	2.67	2.71	2.75	2.80	2.84	2.88	2.92
	0.6	2.47	2.49	2.54	2.60	2.66	2.72	2.78	2.84	2.90	2.96	3.02	3.08	3.14	3.19	3.25
	0.7	2.59	2.63	2.70	2.78	2.86	2.94	3.02	3.10	3.17	3.25	3.32	3.39	3.46	3.53	3.60
	0.8	2.72	2.78	2.88	2.98	3.08	3.18	3.27	3.37	3.46	3.55	3.64	3.73	3.81	3.89	3.97
	0.9	2.88	2.96	3.08	3.20	3.32	3.43	3.55	3.66	3.77	3.87	3.97	4.07	4.17	4.27	4.36
	1.0	3.04	3.15	3.29	3.43	3.57	3.70	3.83	3.96	4.08	4.20	4.42	4.43	4.54	4.65	4.76
	1.2	3.41	3.57	3.74	3.92	4.10	4.27	4.43	4.59	4.74	4.89	5.03	5.17	5.31	5.44	5.57
0.6	0.2	2.75	2.55	2.47	2.43	2.41	2.39	2.39	2.38	2.38	2.38	2.39	2.39	2.39	2.40	2.40
	0.4	2.84	2.67	2.61	2.58	2.58	2.59	2.61	2.62	2.64	2.67	2.69	2.71	2.74	2.76	2.78
	0.5	2.91	2.75	2.71	2.70	2.72	2.74	2.77	2.80	2.84	2.87	2.91	2.94	2.98	3.02	3.06
	0.6	3.00	2.86	2.83	2.85	2.88	2.92	2.96	3.01	3.06	3.11	3.16	3.22	3.27	3.32	3.37
	0.7	3.10	2.99	2.98	3.01	3.06	3.12	3.19	3.25	3.32	3.38	3.45	3.51	3.58	3.64	3.71
	0.8	3.22	3.13	3.14	3.20	3.27	3.35	3.43	3.51	3.59	3.67	3.76	3.84	3.91	3.99	4.07
	0.9	3.35	3.29	3.33	3.40	3.49	3.59	3.69	3.79	3.89	3.98	4.08	4.17	4.27	4.36	4.45
	1.0	3.49	3.46	3.52	3.62	3.73	3.85	3.96	4.08	4.19	4.30	4.42	4.52	4.63	4.73	4.83
	1.2	3.81	3.83	3.95	4.09	4.24	4.39	4.54	4.69	4.83	4.97	5.11	5.25	5.38	5.51	5.64
0.8	0.2	3.53	3.18	3.00	2.90	2.84	2.80	2.77	2.75	2.73	2.72	2.71	2.71	2.70	2.70	2.70
	0.4	3.60	3.27	3.11	3.03	2.98	2.96	2.95	2.95	2.95	2.96	2.97	2.98	2.99	3.01	3.03
	0.5	3.65	3.34	3.19	3.13	3.09	3.08	3.09	3.10	3.11	3.14	3.16	3.18	3.21	3.24	3.27
	0.6	3.72	3.42	3.29	3.24	3.23	3.24	3.25	3.28	3.31	3.35	3.39	3.43	3.47	3.51	3.55
	0.7	3.79	3.52	3.41	3.38	3.39	3.41	3.45	3.49	3.54	3.59	3.65	3.70	3.76	3.81	3.87
	0.8	3.88	3.63	3.55	3.54	3.57	3.61	3.67	3.73	3.80	3.86	3.93	4.00	4.07	4.14	4.21
	0.9	3.98	3.76	3.71	3.72	3.77	3.83	3.91	3.99	4.07	4.15	4.24	4.32	4.41	4.49	4.58
	1.0	4.10	3.90	3.88	3.91	3.98	4.07	4.16	4.26	4.36	4.46	4.56	4.66	4.76	4.85	4.95
	1.2	4.35	4.23	4.25	4.34	4.45	4.58	4.71	4.84	4.97	5.10	5.23	5.36	5.49	5.61	5.73
1.0	0.2	4.35	3.88	3.63	3.48	3.38	3.31	3.26	3.22	3.19	3.17	3.15	3.14	3.12	3.11	3.10
	0.4	4.41	3.95	3.72	3.58	3.50	3.44	3.40	3.38	3.36	3.36	3.35	3.35	3.35	3.36	3.37
	0.5	4.45	4.00	3.78	3.66	3.58	3.54	3.51	3.50	3.50	3.50	3.51	3.52	3.53	3.55	3.57
	0.6	4.50	4.07	3.86	3.75	3.69	3.66	3.65	3.65	3.66	3.68	3.70	3.73	3.75	3.78	3.82
	0.7	4.56	4.15	3.96	3.86	3.82	3.81	3.81	3.83	3.86	3.89	3.93	3.97	4.01	4.05	4.10
	0.8	4.63	4.24	4.07	3.99	3.97	3.97	4.00	4.03	4.08	4.13	4.18	4.24	4.30	4.35	4.41
	0.9	4.71	4.34	4.19	4.14	4.14	4.16	4.21	4.26	4.32	4.39	4.46	4.53	4.61	4.68	4.75
	1.0	4.80	4.46	4.33	4.31	4.32	4.37	4.43	4.51	4.59	4.67	4.76	4.85	4.93	5.02	5.11
	1.2	5.01	4.73	4.66	4.68	4.74	4.83	4.94	5.05	5.16	5.28	5.40	5.52	5.63	5.75	5.86
1.2	0.2	5.19	4.61	4.30	4.10	3.97	3.88	3.81	3.75	3.71	3.68	3.65	3.62	3.60	3.59	3.57
	0.4	5.23	4.66	4.36	4.18	4.06	3.98	3.92	3.88	3.85	3.82	3.81	3.80	3.79	3.78	3.78
	0.5	5.27	4.71	4.42	4.24	4.13	4.06	4.01	3.97	3.95	3.94	3.93	3.98	3.93	3.94	3.95
	0.6	5.31	4.76	4.48	4.32	4.22	4.16	4.12	4.10	4.09	4.08	4.09	4.10	4.11	4.13	4.15
	0.7	5.36	4.82	4.56	4.41	4.32	4.27	4.25	4.24	4.25	4.26	4.28	4.30	4.33	4.36	4.40
	0.8	5.42	4.90	4.65	4.52	4.45	4.41	4.41	4.42	4.44	4.46	4.50	4.54	4.58	4.63	4.68
	0.9	5.48	4.98	4.75	4.64	4.59	4.57	4.58	4.61	4.65	4.69	4.75	4.80	4.86	4.92	4.99
	1.0	5.56	5.08	4.87	4.77	4.74	4.75	4.78	4.83	4.88	4.95	5.02	5.09	5.16	5.24	5.32
	1.2	5.73	5.30	5.14	5.09	5.11	5.16	5.23	5.31	5.41	5.51	5.61	5.71	5.82	5.93	6.03
1.4	0.2	6.03	5.34	4.97	4.74	4.58	4.46	4.38	4.31	4.25	4.21	4.17	4.14	4.12	4.10	4.08
	0.4	6.07	5.39	5.03	4.80	4.65	4.55	4.47	4.41	4.37	4.33	4.30	4.28	4.27	4.25	4.24
	0.5	6.10	5.43	5.07	4.85	4.71	4.61	4.54	4.49	4.45	4.43	4.41	4.39	4.38	4.38	4.38
	0.6	6.13	5.47	5.13	4.92	4.78	4.69	4.63	4.59	4.56	4.54	4.54	4.53	4.53	4.54	4.55
	0.7	6.18	5.53	5.19	4.99	4.87	4.79	4.74	4.71	4.70	4.69	4.69	4.70	4.72	4.74	4.76
	0.8	6.23	5.59	5.27	5.08	4.97	4.91	4.87	4.86	4.85	4.86	4.88	4.90	4.93	4.96	5.00
	0.9	6.28	5.66	5.35	5.18	5.09	5.04	5.02	5.02	5.04	5.06	5.09	5.13	5.18	5.22	5.28
	1.0	6.35	5.74	5.45	5.30	5.22	5.19	5.19	5.21	5.24	5.28	5.33	5.39	5.45	5.51	5.58
	1.2	6.49	5.93	5.68	5.57	5.54	5.55	5.58	5.64	5.71	5.79	5.87	5.96	6.05	6.15	6.24

注：表中的计算长度系数 μ 值系按右式算得：$\frac{K_1\eta_1}{K_2\eta_2} \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi\eta_1}{\mu} \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi\eta_2}{\mu} + K_1\eta_1 \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi\eta_1}{\mu} \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi}{\mu} + K_2\eta_2 \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi\eta_2}{\mu} \cdot$

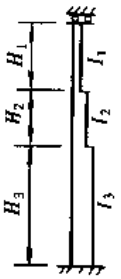
续表

$K_1=0.30$														
当 K_2 为														
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
2.05	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15	2.16
2.12	2.15	2.18	2.21	2.25	2.28	2.31	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.54	2.57
2.17	2.23	2.28	2.33	2.39	2.44	2.49	2.54	2.58	2.63	2.68	2.72	2.77	2.81	2.86
2.25	2.33	2.41	2.48	2.56	2.63	2.69	2.76	2.83	2.89	2.95	3.01	3.07	3.13	3.19
2.36	2.46	2.57	2.66	2.76	2.85	2.93	3.02	3.10	3.18	3.26	3.33	3.40	3.48	3.55
2.49	2.62	2.75	2.87	2.98	3.09	3.20	3.30	3.39	3.49	3.58	3.67	3.76	3.84	3.92
2.64	2.80	2.95	3.09	3.22	3.35	3.47	3.59	3.70	3.81	3.92	4.02	4.12	4.22	4.31
2.82	3.00	3.17	3.33	3.48	3.63	3.76	3.90	4.02	4.15	4.27	4.38	4.50	4.61	4.71
3.20	3.43	3.64	3.83	4.02	4.20	4.37	4.53	4.69	4.84	4.99	5.13	5.27	5.40	5.53
2.26	2.21	2.20	2.19	2.19	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22	2.23	2.23	2.24	2.25	2.25
2.36	2.33	2.33	2.35	2.38	2.40	2.43	2.46	2.49	2.51	2.54	2.57	2.60	2.63	2.66
2.44	2.42	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.82	2.86	2.90	2.94
2.54	2.54	2.58	2.63	2.69	2.75	2.81	2.87	2.93	2.99	3.04	3.10	3.16	3.21	3.27
2.66	2.67	2.73	2.81	2.89	2.96	3.04	3.12	3.19	3.27	3.34	3.41	3.48	3.55	3.62
2.79	2.83	2.91	3.01	3.10	3.20	3.30	3.39	3.48	3.57	3.66	3.74	3.83	3.91	3.99
2.94	3.01	3.11	3.23	3.34	3.46	3.57	3.68	3.78	3.89	3.99	4.08	4.19	4.28	4.37
3.11	3.20	3.32	3.46	3.59	3.72	3.85	3.98	4.10	4.22	4.33	4.45	4.56	4.66	4.77
3.47	3.60	3.77	3.95	4.12	4.28	4.45	4.60	4.75	4.90	5.04	5.18	5.32	5.45	5.58
2.93	2.68	2.57	2.52	2.49	2.47	2.46	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.46
3.02	2.79	2.71	2.67	2.66	2.66	2.67	2.69	2.70	2.72	2.74	2.76	2.79	2.81	2.83
3.08	2.88	2.81	2.79	2.79	2.81	2.83	2.86	2.89	2.92	2.96	2.99	3.03	3.06	3.10
3.17	2.98	2.93	2.93	2.95	2.98	3.02	3.07	3.11	3.16	3.21	3.26	3.31	3.36	3.41
3.26	3.10	3.07	3.09	3.13	3.18	3.24	3.30	3.37	3.43	3.49	3.56	3.62	3.68	3.74
3.37	3.24	3.23	3.27	3.33	3.41	3.48	3.56	3.64	3.72	3.80	3.87	3.95	4.03	4.10
3.50	3.39	3.41	3.47	3.55	3.64	3.74	3.83	3.93	4.02	4.12	4.21	4.30	4.39	4.48
3.63	3.56	3.60	3.69	3.79	3.90	4.01	4.12	4.23	4.34	4.45	4.55	4.66	4.76	4.86
3.94	3.92	4.02	4.15	4.29	4.43	4.58	4.72	4.87	5.01	5.14	5.28	5.41	5.53	5.66
3.78	3.38	3.18	3.06	2.98	2.93	2.89	2.86	2.84	2.83	2.82	2.81	2.80	2.80	2.79
3.85	3.47	3.28	3.18	3.12	3.09	3.07	3.06	3.06	3.06	3.06	3.07	3.09	3.10	3.11
3.90	3.53	3.36	3.27	3.23	3.21	3.20	3.20	3.22	3.23	3.25	3.27	3.30	3.32	3.35
3.96	3.61	3.46	3.39	3.36	3.35	3.36	3.38	3.41	3.44	3.47	3.51	3.55	3.59	3.63
4.04	3.71	3.57	3.52	3.51	3.52	3.55	3.59	3.63	3.68	3.73	3.78	3.83	3.88	3.94
4.12	3.82	3.70	3.67	3.68	3.72	3.76	3.82	3.88	3.94	4.01	4.07	4.14	4.21	4.27
4.22	3.94	3.85	3.84	3.88	3.93	3.99	4.07	4.14	4.22	4.30	4.39	4.47	4.55	4.63
4.32	4.07	4.01	4.03	4.08	4.16	4.24	4.33	4.43	4.52	4.62	4.72	4.81	4.91	5.00
4.57	4.38	4.38	4.44	4.54	4.66	4.78	4.90	5.03	5.16	5.29	5.41	5.53	5.66	5.77
4.68	4.15	3.86	3.69	3.57	3.49	3.43	3.38	3.35	3.32	3.30	3.28	3.26	3.25	3.24
4.73	4.21	3.94	3.78	3.68	3.61	3.57	3.54	3.51	3.50	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
4.77	4.26	4.01	3.86	3.77	3.71	3.67	3.65	3.64	3.64	3.64	3.65	3.66	3.67	3.69
4.82	4.33	4.08	3.95	3.87	3.83	3.80	3.80	3.80	3.81	3.83	3.85	3.87	3.90	3.93
4.88	4.40	4.17	4.05	3.99	3.97	3.96	3.97	3.99	4.01	4.05	4.08	4.12	4.16	4.20
4.94	4.49	4.28	4.18	4.14	4.13	4.14	4.17	4.20	4.25	4.29	4.34	4.40	4.45	4.51
5.02	4.59	4.40	4.32	4.30	4.31	4.34	4.39	4.44	4.50	4.56	4.63	4.70	4.76	4.84
5.10	4.70	4.53	4.48	4.48	4.51	4.56	4.62	4.70	4.77	4.85	4.94	5.02	5.10	5.19
5.30	4.95	4.84	4.83	4.88	4.96	5.05	5.15	5.26	5.37	5.48	5.59	5.71	5.81	5.83
5.58	4.93	4.57	4.35	4.20	4.10	4.01	3.95	3.90	3.86	3.83	3.80	3.78	3.76	3.74
5.62	4.98	4.64	4.43	4.29	4.19	4.12	4.07	4.03	4.01	3.98	3.97	3.96	3.95	3.94
5.66	5.03	4.69	4.49	4.36	4.27	4.21	4.17	4.14	4.12	4.11	4.10	4.10	4.10	4.10
5.70	5.08	4.75	4.56	4.44	4.37	4.32	4.29	4.27	4.26	4.26	4.26	4.27	4.29	4.30
5.75	5.14	4.83	4.65	4.54	4.48	4.44	4.43	4.42	4.43	4.44	4.46	4.48	4.51	4.54
5.80	5.21	4.91	4.75	4.66	4.61	4.59	4.59	4.60	4.62	4.65	4.69	4.72	4.77	4.81
5.86	5.29	5.01	4.87	4.80	4.77	4.76	4.78	4.81	4.85	4.89	4.94	4.99	5.05	5.11
5.93	5.38	5.12	5.00	4.95	4.94	4.95	4.99	5.03	5.09	5.15	5.22	5.29	5.36	5.43
6.10	5.59	5.38	5.31	5.30	5.33	5.39	5.46	5.54	5.63	5.73	5.83	5.93	6.03	6.13
6.49	5.72	5.30	5.03	4.85	4.72	4.62	4.54	4.48	4.43	4.38	4.35	4.32	4.29	4.27
6.53	5.77	5.35	5.10	4.93	4.80	4.71	4.64	4.59	4.55	4.51	4.49	4.47	4.45	4.44
6.56	5.80	5.40	5.15	4.98	4.87	4.78	4.72	4.67	4.64	4.61	4.60	4.59	4.57	4.57
6.59	5.85	5.45	5.21	5.05	4.95	4.87	4.82	4.78	4.76	4.74	4.73	4.73	4.73	4.74
6.63	5.90	5.51	5.28	5.14	5.04	4.98	4.94	4.91	4.90	4.89	4.90	4.91	4.92	4.94
6.68	5.96	5.59	5.37	5.24	5.15	5.10	5.08	5.06	5.06	5.07	5.09	5.11	5.14	5.17
6.73	6.03	5.67	5.47	5.35	5.28	5.25	5.24	5.24	5.26	5.28	5.31	5.35	5.39	5.44
6.79	6.10	5.76	5.58	5.48	5.43	5.41	5.41	5.44	5.47	5.51	5.56	5.61	5.67	5.73
6.93	6.28	5.98	5.84	5.78	5.76	5.79	5.83	5.89	5.95	6.03	6.11	6.20	6.28	6.37

$$\operatorname{tg}\frac{\pi}{\mu}-1=0$$

(6) 柱上端可移动但不转动的双阶柱下段的计算长度系数 μ

简图	η_1	η_2	$K_1=0.05$，当 K_2 为 0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	0.2	0.2	1.99	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09
		0.4	2.03	2.06	2.09	2.12	2.16	2.19	2.22	2.25	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47
		0.5	2.06	2.12	2.17	2.22	2.28	2.33	2.38	2.43	2.48	2.52	2.57	2.62	2.66	2.70	2.75
		0.6	2.12	2.20	2.28	2.36	2.43	2.50	2.57	2.64	2.71	2.77	2.83	2.89	2.95	3.01	3.07
		0.7	2.19	2.30	2.41	2.52	2.61	2.71	2.80	2.88	2.96	3.04	3.12	3.20	3.27	3.34	3.41
		0.8	2.28	2.43	2.57	2.70	2.82	2.94	3.04	3.15	3.25	3.34	3.43	3.52	3.61	3.69	3.78
		0.9	2.40	2.59	2.76	2.91	3.05	3.18	3.31	3.43	3.54	3.65	3.76	3.86	3.96	4.06	4.16
		1.0	2.53	2.76	2.96	3.13	3.29	3.44	3.59	3.72	3.85	3.98	4.10	4.21	4.33	4.44	4.54
		1.2	2.86	3.15	3.39	3.61	3.80	3.99	4.16	4.33	4.49	4.64	4.79	4.93	5.07	5.21	5.34
	0.4	0.2	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09
		0.4	2.03	2.06	2.09	2.13	2.16	2.19	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47
		0.5	2.07	2.12	2.18	2.23	2.28	2.33	2.28	2.43	2.48	2.53	2.57	2.62	2.67	2.71	2.75
		0.6	2.12	2.20	2.28	2.36	2.44	2.51	2.58	2.64	2.71	2.77	2.84	2.90	2.96	3.01	3.07
		0.7	2.19	2.31	2.42	2.52	2.62	2.71	2.80	2.89	2.97	3.05	3.13	3.20	3.27	3.35	3.42
		0.8	2.29	2.44	2.58	2.71	2.83	2.94	3.05	3.15	3.25	3.35	3.44	3.53	3.61	3.70	3.78
		0.9	2.41	2.60	2.76	2.92	3.06	3.19	3.31	3.43	3.55	3.66	3.76	3.87	3.97	4.06	4.16
		1.0	2.54	2.77	2.96	3.14	3.30	3.45	3.59	3.73	3.85	3.98	4.10	4.22	4.33	4.44	4.55
		1.2	2.87	3.15	3.40	3.61	3.81	3.99	4.17	4.33	4.49	4.65	4.79	4.94	5.07	5.21	4.34
	0.6	0.2	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.10
		0.4	2.04	2.07	2.10	2.14	2.17	2.20	2.23	2.27	2.30	2.33	2.36	2.39	2.42	2.45	2.48
		0.5	2.08	2.13	2.19	2.24	2.29	2.34	2.39	2.44	2.49	2.54	2.58	2.63	2.67	2.72	2.76
		0.6	2.13	2.21	2.29	2.37	2.45	2.52	2.59	2.65	2.72	2.78	2.84	2.90	2.96	3.02	3.08
		0.7	2.21	2.32	2.43	2.53	2.63	2.72	2.81	2.89	2.98	3.06	3.13	3.21	3.28	3.35	3.42
		0.8	2.30	2.45	2.59	2.72	2.84	2.95	3.06	3.16	3.26	3.35	3.44	3.53	3.62	3.70	3.79
		0.9	2.42	2.61	2.77	2.93	3.06	3.20	3.32	3.44	3.55	3.66	3.77	3.87	3.97	4.07	4.16
		1.0	2.56	2.78	2.97	3.15	3.31	3.46	3.60	3.73	3.86	3.99	4.11	4.22	4.33	4.44	4.55
		1.2	2.89	3.17	3.41	3.62	3.82	4.00	4.17	4.34	4.50	4.65	4.80	4.94	5.08	5.21	5.34
	0.8	0.2	2.00	2.01	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11
		0.4	2.05	2.08	2.12	2.15	2.18	2.21	2.25	2.28	2.31	2.34	2.37	2.40	2.43	2.46	2.49
		0.5	2.09	2.15	2.20	2.25	2.30	2.36	2.40	2.45	2.50	2.55	2.59	2.64	2.68	2.73	2.77
		0.6	2.15	2.23	2.31	2.39	2.46	2.53	2.60	2.67	2.73	2.79	2.85	2.91	2.97	3.03	3.09
		0.7	2.23	2.34	2.45	2.55	2.64	2.73	2.82	2.91	2.99	3.07	3.14	3.22	3.29	3.36	3.43
		0.8	2.32	2.47	2.61	2.73	2.85	2.96	3.07	3.17	3.27	3.36	3.45	3.54	3.63	3.71	3.79
		0.9	2.45	2.63	2.79	2.94	3.08	3.21	3.33	3.45	3.56	3.67	3.78	3.88	3.98	4.08	4.17
		1.0	2.59	2.80	2.99	3.16	3.32	3.47	3.61	3.74	3.87	3.99	4.11	4.23	4.34	4.45	4.56
		1.2	2.92	3.19	3.42	3.63	3.83	4.01	4.18	4.35	4.51	4.66	4.81	4.95	5.08	5.22	5.35
	1.0	0.2	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12
		0.4	2.07	2.10	2.14	2.17	2.20	2.23	2.26	2.30	2.33	2.36	2.39	2.42	2.45	2.48	2.51
		0.5	2.11	2.17	2.22	2.27	2.32	2.37	2.42	2.47	2.52	2.56	2.61	2.65	2.70	2.74	2.78
		0.6	2.17	2.26	2.33	2.41	2.48	2.55	2.62	2.68	2.75	2.81	2.87	2.93	2.99	3.04	3.10
		0.7	2.26	2.37	2.47	2.57	2.66	2.75	2.84	2.92	3.00	3.08	3.16	3.23	3.30	3.37	3.44
		0.8	2.36	2.50	2.63	2.76	2.87	2.98	3.08	3.19	3.28	3.38	3.47	3.55	3.64	3.72	3.80
		0.9	2.48	2.66	2.82	2.96	3.10	3.22	3.35	3.46	3.58	3.68	3.79	3.89	3.99	4.09	4.18
		1.0	2.62	2.83	3.01	3.18	3.34	3.48	3.62	3.75	3.88	4.01	4.12	4.24	4.35	4.46	4.57
		1.2	2.95	3.21	3.44	3.65	3.82	4.02	4.20	4.36	4.52	4.67	4.81	4.96	5.09	5.23	5.36
	1.2	0.2	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15
		0.4	2.10	2.13	2.17	2.20	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53
		0.5	2.15	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.50	2.54	2.59	2.63	2.68	2.72	2.76	2.80
		0.6	2.22	2.29	2.37	2.44	2.51	2.58	2.64	2.71	2.77	2.83	2.89	2.95	3.00	3.06	3.12
		0.7	2.30	2.41	2.51	2.60	2.69	2.78	2.86	2.94	3.02	3.10	3.18	3.25	3.32	3.39	3.46
		0.8	2.41	2.54	2.67	2.78	2.90	3.00	3.11	3.20	3.30	3.39	3.48	3.57	3.65	3.74	3.82
		0.9	2.53	2.70	2.85	2.99	3.12	3.25	3.37	3.48	3.59	3.70	3.80	3.91	4.00	4.10	4.19
		1.0	2.68	2.87	3.04	3.21	3.36	3.50	3.64	3.77	3.90	4.02	4.14	4.25	4.36	4.47	4.58
		1.2	3.00	3.25	3.47	3.67	3.86	4.04	4.21	4.37	4.53	4.68	4.83	4.97	5.10	5.24	5.37
	1.4	0.2	2.10	2.10	2.10	2.11	2.11	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15	2.15	2.16	2.17	2.18	2.18
		0.4	2.17	2.19	2.21	2.24	2.27	2.30	2.33	2.36	2.39	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53	2.56
		0.5	2.22	2.26	2.30	2.35	2.39	2.44	2.48	2.53	2.57	2.62	2.66	2.70	2.74	2.79	2.83
		0.6	2.29	2.35	2.41	2.48	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.86	2.91	2.97	3.03	3.08	3.14
		0.7	2.38	2.46	2.55	2.64	2.73	2.81	2.89	2.97	3.05	3.12	3.20	3.27	3.34	3.41	3.48
		0.8	2.48	2.60	2.71	2.82	2.93	3.03	3.13	3.23	3.32	3.41	3.50	3.59	3.67	3.75	3.83
		0.9	2.61	2.75	2.89	3.02	3.15	3.27	3.39	3.50	3.61	3.72	3.82	3.92	4.02	4.11	4.21
		1.0	2.74	2.92	3.08	3.24	3.39	3.53	3.66	3.79	3.92	4.04	4.15	4.27	3.38	4.49	4.59
		1.2	3.06	3.29	3.50	3.70	3.89	4.06	4.23	4.39	4.55	4.70	4.84	4.98	5.11	5.25	5.38



$K_1=\frac{I_1}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_1}$；

$K_2=\frac{I_2}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_2}$；

$\eta_1=\frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_1}}$；

$\eta_2=\frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_2}}$；

N_1—上段柱的轴心力；

N_2—中段柱的轴心力；

N_3—下段柱的轴心力。

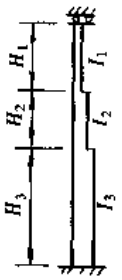
表 15-6

$K_1 = 0.10$

当 K_2 为

0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05
2.00	2.02	2.05	2.08	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41
2.03	2.07	2.12	2.17	2.22	2.27	2.32	2.36	2.41	2.46	2.50	2.55	2.59	2.63	2.68
2.07	2.14	2.22	2.29	2.36	2.43	2.50	2.56	2.63	2.69	2.75	2.81	2.87	2.93	2.98
2.13	2.23	2.34	2.44	2.53	2.62	2.71	2.79	2.87	2.95	3.03	3.10	3.18	3.25	3.32
2.20	2.35	2.48	2.61	2.73	2.84	2.94	3.05	3.14	3.24	3.33	3.42	3.50	3.59	3.67
2.30	2.48	2.65	2.80	2.94	3.07	3.19	3.31	3.43	3.54	3.64	3.74	3.84	3.94	4.03
2.41	2.64	2.83	3.01	3.17	3.32	3.46	3.59	3.72	3.85	3.97	4.08	4.19	4.30	4.41
2.70	2.99	3.23	3.45	3.65	3.84	4.01	4.18	4.34	4.49	4.64	4.78	4.91	5.05	5.17
1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.05
2.00	2.03	2.06	2.09	2.12	2.15	2.18	2.21	2.24	2.27	2.30	2.33	2.36	2.39	2.42
2.03	2.08	2.13	2.18	2.23	2.28	2.33	2.37	2.42	2.47	2.51	2.56	2.60	2.64	2.68
2.08	2.15	2.23	2.30	2.37	2.44	2.51	2.57	2.64	2.70	2.76	2.82	2.88	2.93	2.99
2.14	2.24	2.35	2.45	2.54	2.63	2.72	2.80	2.88	2.96	3.04	3.11	3.18	3.25	3.32
2.21	2.36	2.49	2.62	2.73	2.85	2.95	3.05	3.15	3.24	3.34	3.42	3.51	3.59	3.67
2.31	2.49	2.66	2.81	2.95	3.08	3.20	3.32	3.43	3.54	3.65	3.75	3.85	3.94	4.04
2.43	2.65	2.84	3.02	3.18	3.33	3.47	3.60	3.73	3.85	3.97	4.09	4.20	4.31	4.41
2.71	3.00	3.24	3.46	3.66	3.85	4.02	4.19	4.34	4.49	4.64	4.78	4.92	5.05	5.18
1.97	1.98	1.98	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07
2.01	2.04	2.07	2.10	2.13	2.16	2.19	2.22	2.26	2.29	2.32	2.35	2.37	2.40	2.43
2.05	2.09	2.14	2.19	2.24	2.29	2.34	2.39	2.44	2.48	2.53	2.57	2.61	2.66	2.70
2.09	2.17	2.24	2.32	2.39	2.46	2.52	2.59	2.65	2.71	2.77	2.83	2.89	2.95	3.00
2.15	2.26	2.37	2.46	2.56	2.65	2.73	2.82	2.90	2.97	3.05	3.12	3.20	3.27	3.33
2.23	2.38	2.51	2.64	2.75	2.86	2.97	3.07	3.16	3.26	3.35	3.44	3.52	3.60	3.68
2.33	2.51	2.68	2.83	2.96	3.09	3.22	3.33	3.45	3.56	3.66	3.76	3.86	3.95	4.05
2.45	2.68	2.86	3.03	3.19	3.34	3.48	3.61	3.74	3.86	3.98	4.10	4.21	4.32	4.42
2.74	3.02	3.26	3.48	3.67	3.86	4.03	4.20	4.35	4.50	4.65	4.79	4.93	5.06	5.19
1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09
2.03	2.06	2.09	2.12	2.15	2.19	2.22	2.25	2.28	2.31	2.34	2.37	2.40	2.42	2.45
2.07	2.12	2.17	2.22	2.27	2.32	2.36	2.41	2.46	2.50	2.55	2.59	2.63	2.68	2.72
2.12	2.19	2.27	2.34	2.41	2.48	2.55	2.61	2.67	2.73	2.79	2.85	2.91	2.97	3.02
2.18	2.29	2.39	2.49	2.58	2.67	2.76	2.84	2.92	2.99	3.07	3.14	3.21	3.28	3.35
2.27	2.41	2.54	2.66	2.78	2.89	2.99	3.09	3.18	3.28	3.37	3.45	3.54	3.62	3.70
2.37	2.55	2.71	2.85	2.99	3.12	3.24	3.35	3.47	3.57	3.68	3.78	3.87	3.97	4.06
2.49	2.70	2.89	3.06	3.21	3.36	3.50	3.63	3.76	3.88	4.00	4.11	4.22	4.33	4.43
2.78	3.05	3.29	3.50	3.69	3.88	4.05	4.21	4.37	4.52	4.66	4.80	4.94	5.07	5.20
2.01	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.10	2.10	2.11	2.12
2.06	2.10	2.13	2.16	2.19	2.22	2.25	2.28	2.31	2.34	2.37	2.40	2.43	2.45	2.48
2.11	2.16	2.21	2.26	2.30	2.35	2.40	2.44	2.49	2.53	2.58	2.62	2.66	2.70	2.74
2.16	2.24	2.31	2.38	2.45	2.51	2.58	2.64	2.70	2.76	2.82	2.88	2.94	2.99	3.04
2.23	2.34	2.44	2.53	2.62	2.70	2.79	2.87	2.95	3.02	3.10	3.17	3.24	3.31	3.37
2.32	2.46	2.58	2.70	2.81	2.92	3.02	3.12	3.21	3.30	3.39	3.47	3.56	3.64	3.72
2.43	2.60	2.75	2.89	3.02	3.15	3.27	3.38	3.49	3.60	3.70	3.80	3.89	3.99	4.08
2.55	2.75	2.93	3.09	3.25	3.39	3.53	3.66	3.78	3.90	4.02	4.13	4.24	4.35	4.45
2.84	3.10	3.32	3.53	3.72	3.90	4.07	4.23	4.39	4.54	4.68	4.82	4.95	5.08	5.21
2.07	2.08	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.11	2.12	2.13	2.13	2.14	2.15	2.16	2.16
2.13	2.16	2.18	2.21	2.24	2.27	2.30	2.33	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.49	2.52
2.18	2.22	2.27	2.31	2.36	2.40	2.45	2.49	2.53	2.57	2.62	2.66	2.70	2.74	2.78
2.24	2.30	2.37	2.43	2.50	2.56	2.63	2.68	2.74	2.80	2.86	2.91	2.97	3.02	3.08
2.32	2.41	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.91	2.98	3.06	3.13	3.20	3.27	3.33	3.40
2.41	2.53	2.64	2.75	2.86	2.96	3.06	3.15	3.24	3.33	3.42	3.50	3.59	3.67	3.74
2.52	2.66	2.80	2.94	3.06	3.19	3.30	3.41	3.52	3.62	3.73	3.82	3.92	4.01	4.10
2.64	2.82	2.98	3.14	3.29	3.43	3.56	3.69	3.81	3.93	4.04	4.15	4.26	4.37	4.47
2.92	3.16	3.37	3.57	3.76	3.93	4.10	4.26	4.41	4.56	4.70	4.84	4.97	5.10	5.23
2.20	2.18	2.17	2.17	2.17	2.18	2.18	2.19	2.19	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22	2.23
2.26	2.26	2.27	2.29	2.32	2.34	2.37	2.39	2.42	2.44	2.47	2.50	2.52	2.55	2.57
2.31	2.32	2.35	2.39	2.43	2.47	2.51	2.55	2.59	2.63	2.67	2.71	2.75	2.79	2.83
2.37	2.41	2.46	2.51	2.57	2.63	2.68	2.74	2.80	2.85	2.91	2.96	3.01	3.07	3.12
2.45	2.51	2.58	2.66	2.73	2.81	2.88	2.96	3.03	3.10	3.17	3.24	3.31	3.37	3.44
2.53	2.62	2.72	2.82	2.92	3.01	3.11	3.20	3.29	3.37	3.46	3.54	3.62	3.70	3.78
2.64	2.76	2.88	3.00	3.12	3.24	3.35	3.45	3.56	3.66	3.76	3.86	3.95	4.04	4 13
2.75	2.90	3.05	3.20	3.34	3.47	3.60	3.72	3.84	3.96	4.07	4.18	4.29	4.40	4.50
3.02	3.23	3.43	3.62	3.80	3.97	4.13	4.29	4.44	4.59	4.73	4.86	5.00	5.12	5.25

简　图



$K_1 = \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_1}$；

$K_2 = \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_2}$；

$\eta_1 = \frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3} \cdot \frac{I_3}{I_1}}$；

$\eta_2 = \frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3} \cdot \frac{I_3}{I_2}}$；

N_1—上段柱的轴心力；

N_2—中段柱的轴心力；

N_3—下段柱的轴心力。

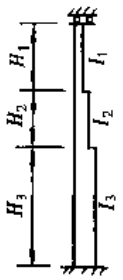
$K_1 = 0.15$

η_1	η_2	当 K_2 为														
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
0.2	0.2	1.95	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01
	0.4	1.98	2.00	2.02	2.05	2.07	2.10	2.13	2.16	2.19	2.22	2.24	2.27	2.30	2.33	2.36
	0.5	2.00	2.04	2.08	2.13	2.17	2.22	2.27	2.31	2.36	2.40	2.44	2.49	2.53	2.57	2.61
	0.6	2.04	2.10	2.17	2.24	2.30	2.37	2.44	2.50	2.56	2.62	2.68	2.74	2.80	2.85	2.91
	0.7	2.09	2.18	2.28	2.37	2.46	2.55	2.64	2.72	2.80	2.87	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23
	0.8	2.15	2.28	2.41	2.53	2.64	2.75	2.86	2.96	3.05	3.15	3.24	3.32	3.41	3.49	3.57
	0.9	2.23	2.40	2.56	2.71	2.85	2.98	3.10	3.21	3.33	3.43	3.54	3.64	3.74	3.83	3.92
	1.0	2.33	2.54	2.73	2.90	3.06	3.21	3.35	3.48	3.61	3.73	3.85	3.96	4.07	4.18	4.29
	1.2	2.57	2.86	3.11	3.33	3.52	3.71	3.88	4.05	4.20	4.35	4.50	4.64	4.77	4.90	5.03
0.4	0.2	1.95	1.95	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.02
	0.4	1.98	2.00	2.03	2.05	2.08	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.26	2.28	2.31	2.34	2.37
	0.5	2.01	2.05	2.09	2.14	2.19	2.23	2.28	2.32	2.37	2.41	2.46	2.50	2.54	2.58	2.62
	0.6	2.05	2.11	2.18	2.25	2.32	2.38	2.45	2.51	2.57	2.63	2.69	2.75	2.81	2.86	2.92
	0.7	2.10	2.19	2.29	2.38	2.47	2.56	2.65	2.73	2.81	2.88	2.96	3.03	3.10	3.17	3.24
	0.8	2.16	2.29	2.42	2.54	2.66	2.77	2.87	2.97	3.06	3.16	3.25	3.33	3.42	3.50	3.58
	0.9	2.25	2.42	2.58	2.72	2.86	2.99	3.11	3.23	3.34	3.44	3.55	3.65	3.74	3.84	3.93
	1.0	2.35	2.56	2.75	2.92	3.07	3.22	3.36	3.49	3.62	3.74	3.86	3.97	4.08	4.19	4.29
	1.2	2.59	2.88	2.12	3.34	3.54	3.72	3.89	4.06	4.21	4.36	3.51	4.64	4.78	4.91	5.04
0.6	0.2	1.96	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04
	0.4	1.99	2.02	2.04	2.07	2.10	2.13	2.16	2.19	2.22	2.25	2.28	2.30	2.33	2.36	2.39
	0.5	2.02	2.07	2.11	2.16	2.21	2.25	2.30	2.34	2.39	2.43	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64
	0.6	2.06	2.13	2.20	2.27	2.34	2.40	2.47	2.53	2.59	2.65	2.71	2.77	2.83	2.88	2.93
	0.7	2.12	2.22	2.31	2.41	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.90	2.98	3.05	3.12	3.19	3.25
	0.8	2.19	2.32	2.45	2.57	2.68	2.79	2.89	2.99	3.08	3.17	3.26	3.35	3.43	3.51	3.59
	0.9	2.27	2.44	2.60	2.75	2.88	3.01	3.13	3.24	3.35	3.46	3.56	3.66	3.76	3.85	3.94
	1.0	2.38	2.59	2.77	2.94	3.10	3.24	3.38	3.51	3.64	3.76	3.87	3.99	4.10	4.20	4.31
	1.2	2.63	2.91	3.15	3.36	3.55	3.74	3.91	4.07	4.23	4.38	4.52	4.66	4.79	4.92	5.05
0.8	0.2	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07
	0.4	2.02	2.04	2.07	2.10	2.13	2.16	2.19	2.22	2.25	2.28	2.31	2.33	2.36	2.39	2.42
	0.5	2.05	2.10	2.14	2.19	2.24	2.28	2.33	2.37	2.42	2.46	2.51	2.55	2.59	2.63	2.67
	0.6	2.09	2.16	2.24	2.30	2.37	2.44	2.50	2.56	2.62	2.68	2.74	2.80	2.85	2.91	2.96
	0.7	2.15	2.25	2.35	2.44	2.53	2.62	2.70	2.78	2.86	2.93	3.00	3.08	3.14	3.22	3.28
	0.8	2.23	2.36	2.49	2.60	2.71	2.82	2.92	3.02	3.11	3.20	3.29	3.37	3.46	3.54	3.61
	0.9	2.32	2.49	2.64	2.78	2.91	3.04	3.16	3.27	3.38	3.49	3.59	3.69	3.78	3.87	3.96
	1.0	2.42	2.63	2.81	2.97	3.13	3.27	3.41	3.54	3.66	3.78	3.90	4.01	4.12	4.22	4.32
	1.2	2.68	2.95	3.18	3.39	3.58	3.76	3.93	4.09	4.25	4.39	4.54	4.67	4.81	4.94	5.06
1.0	0.2	2.01	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.11
	0.4	2.06	2.09	2.12	2.15	2.18	2.21	2.24	2.27	2.29	2.32	2.35	2.38	2.40	2.43	2.46
	0.5	2.10	2.15	2.19	2.24	2.29	2.33	2.38	2.42	2.46	2.51	2.55	2.59	2.63	2.67	2.71
	0.6	2.15	2.22	2.29	2.36	2.42	2.49	2.55	2.61	2.67	2.72	2.78	2.84	2.89	2.94	3.00
	0.7	2.21	2.31	2.41	2.50	2.58	2.66	2.74	2.82	2.90	2.97	3.04	3.11	3.18	3.24	3.31
	0.8	2.29	2.42	2.54	2.65	2.76	2.86	2.96	3.06	3.15	3.24	3.32	3.40	3.49	3.57	3.64
	0.9	2.39	2.55	2.69	2.83	2.96	3.08	3.20	3.31	3.41	3.51	3.62	3.71	3.81	3.90	3.99
	1.0	2.50	2.69	2.86	3.02	3.17	3.31	3.44	3.57	3.69	3.81	3.92	4.03	4.14	4.25	3.35
	1.2	2.75	3.01	3.23	3.43	3.62	3.80	3.96	4.12	4.27	4.42	4.56	4.70	4.83	4.96	5.08
1.2	0.2	2.10	2.10	2.10	2.11	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.14	2.15	2.16	2.16	2.17	2.18
	0.4	2.16	2.18	2.20	2.23	2.25	2.28	2.30	2.33	2.36	2.38	2.41	2.44	2.46	2.49	2.51
	0.5	2.20	2.24	2.28	2.32	2.36	2.40	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.68	2.72	2.76
	0.6	2.26	2.31	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.72	2.78	2.83	2.89	2.94	2.99	3.04
	0.7	2.33	2.41	2.49	2.57	2.65	2.73	2.80	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.22	3.29	3.35
	0.8	2.41	2.51	2.62	2.72	2.82	2.92	3.02	3.11	3.19	3.28	3.36	3.45	3.53	3.60	3.68
	0.9	2.50	2.64	2.77	2.90	3.02	3.13	3.25	3.35	3.46	3.56	3.66	3.75	3.84	3.93	4.02
	1.0	2.61	2.78	2.93	3.08	3.23	3.36	3.49	3.61	3.73	3.85	3.96	4.07	4.17	4.28	4.38
	1.2	2.86	3.08	3.29	3.49	3.67	3.84	4.00	4.16	4.31	4.45	4.59	4.73	4.86	4.98	5.11
1.4	0.2	2.28	2.25	2.23	2.23	2.22	2.23	2.23	2.23	2.24	2.24	2.24	2.25	2.25	2.26	2.27
	0.4	2.34	2.32	2.33	2.34	2.36	2.38	2.40	2.42	2.45	2.47	2.49	2.52	2.54	2.56	2.59
	0.5	2.38	2.38	2.40	2.43	2.46	2.50	2.53	2.57	2.61	2.64	2.68	2.72	2.75	2.79	2.82
	0.6	2.43	2.45	2.49	2.54	2.59	2.64	2.69	2.74	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00	3.05	3.10
	0.7	2.50	2.54	2.60	2.67	2.74	2.81	2.88	2.95	3.02	3.08	3.15	3.21	3.28	3.34	3.40
	0.8	2.57	2.64	2.73	2.82	2.91	3.00	3.09	3.17	3.26	3.34	3.42	3.50	3.57	3.65	3.72
	0.9	2.66	2.76	2.87	2.98	3.09	3.20	3.31	3.41	3.51	3.61	3.70	3.80	3.89	3.98	4.06
	1.0	2.76	2.89	3.03	3.16	3.30	3.42	3.55	3.67	3.78	3.89	4.00	4.11	4.21	4.32	4.41
	1.2	2.99	3.18	3.37	3.56	3.73	3.89	4.05	4.20	4.35	4.49	4.63	4.76	4.89	5.02	5.14

续表

$K_1=0.20$														
当 K_2 为														
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
1.94	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98
1.96	1.98	1.99	2.02	2.04	2.07	2.09	2.12	2.15	2.17	2.20	2.23	2.26	2.28	2.31
1.99	2.02	2.05	2.09	2.14	2.18	2.22	2.26	2.31	2.35	2.39	2.43	2.47	2.52	2.56
2.02	2.07	2.13	2.19	2.26	2.32	2.38	2.44	2.50	2.56	2.62	2.68	2.73	2.79	2.84
2.06	2.14	2.23	2.32	2.40	2.49	2.57	2.65	2.73	2.80	2.88	2.95	3.02	3.08	3.15
2.12	2.23	2.35	2.47	2.58	2.68	2.78	2.88	2.98	3.07	3.15	3.24	3.32	3.40	3.48
2.19	2.34	2.49	2.63	2.77	2.89	3.01	3.13	3.24	3.34	3.45	3.54	3.64	3.73	3.82
2.28	2.47	2.65	2.82	2.97	3.12	3.26	3.39	3.51	3.63	3.75	3.86	3.97	4.07	4.18
2.50	2.77	3.01	3.22	3.42	3.60	3.77	3.93	4.09	4.23	4.38	4.51	4.65	4.77	4.90
1.94	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.99	1.99
1.97	1.98	2.00	2.03	2.05	2.08	2.11	2.13	2.16	2.19	2.22	2.24	2.27	2.30	2.32
1.99	2.03	2.06	2.11	2.15	2.19	2.24	2.28	2.32	2.36	2.41	2.45	2.49	2.53	2.57
2.03	2.08	2.14	2.21	2.27	2.33	2.40	2.46	2.52	2.58	2.63	2.69	2.75	2.80	2.85
2.07	2.16	2.24	2.33	2.42	2.50	2.59	2.67	2.74	2.82	2.89	2.96	3.03	3.10	3.16
2.13	2.25	2.37	2.48	2.59	2.70	2.80	2.90	2.99	3.08	3.17	3.25	3.33	3.41	3.49
2.20	2.36	2.51	2.65	2.78	2.91	3.03	3.14	3.25	3.36	3.46	3.56	3.65	3.74	3.83
2.29	2.49	2.67	2.83	2.99	3.13	3.27	3.40	3.53	3.64	3.76	3.87	3.98	4.08	4.19
2.52	2.79	3.02	3.23	3.43	3.61	3.78	3.94	4.10	4.24	4.39	4.52	4.65	4.78	4.91
1.95	1.95	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02
1.98	2.00	2.02	2.05	2.08	2.10	2.13	2.16	2.19	2.21	2.24	2.27	2.30	2.32	2.35
2.01	2.04	2.09	2.13	2.17	2.22	2.26	2.30	2.35	2.39	2.43	2.47	2.51	2.55	2.59
2.04	2.10	2.17	2.23	2.30	2.36	2.42	2.48	2.54	2.60	2.66	2.71	2.77	2.82	2.87
2.09	2.18	2.27	2.36	2.45	2.53	2.61	2.69	2.77	2.84	2.91	2.98	3.05	3.12	3.18
2.15	2.27	2.39	2.51	2.62	2.72	2.82	2.92	3.01	3.10	3.19	3.27	3.35	3.43	3.51
2.23	2.39	2.54	2.68	2.81	2.93	3.05	3.16	3.27	3.38	3.48	3.58	3.67	3.76	3.85
2.32	2.52	2.70	2.86	3.01	3.16	3.29	3.42	3.55	3.66	3.78	3.89	4.00	4.10	4.20
2.55	2.82	3.05	3.26	3.45	3.63	3.80	3.96	4.11	4.26	4.40	4.54	4.67	4.80	4.92
1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.05
2.00	2.03	2.06	2.08	2.11	2.14	2.17	2.20	2.22	2.25	2.28	2.31	2.33	2.36	2.39
2.03	2.08	2 12	2.17	2.21	2.26	2.30	2.34	2.39	2.43	2.47	2.51	2.55	2.59	2.63
2.08	2.14	2.21	2.27	2.34	2.40	2.46	2.52	2.58	2.64	2.69	2.75	2.80	2.86	2.91
2.13	2.22	2.31	2.40	2.49	2.57	2.65	2.73	2.80	2.88	2.95	3.02	3.08	3.15	3.21
2.19	2.32	2.44	2.55	2.66	2.76	2.86	2.96	3.05	3.13	3.22	3.30	3.38	3.46	3.54
2.28	2.44	2.58	2.72	2.85	2.97	3.09	3.20	3.30	3.41	3.51	3.60	3.70	3.79	3.88
2.37	2.57	2.74	2.90	3.05	3.19	3.33	3.45	3.58	3.69	3.81	3.91	4.02	4.12	4.22
2.61	2.87	3.09	3.30	3.49	3.66	3.83	3.99	4.14	4.29	4.42	4.56	4.69	4.82	4.94
2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11
2.06	2.09	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.25	2.28	2.31	2.33	2.36	2.39	2.41	2.44
2.09	2.14	2.18	2.23	2.27	2.31	2.36	2.40	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.68
2.14	2.21	2.27	2.34	2.40	2.46	2.52	2.58	2.63	2.69	2.74	2.80	2.85	2.90	2.95
2.20	2.29	2.38	2.47	2.55	2.63	2.71	2.78	2.85	2.92	2.99	3.06	3.13	3.19	3.23
2.27	2.39	2.51	2.62	2.72	2.82	2.91	3.00	3.09	3.18	3.26	3.34	3.42	3.50	3.57
2.36	2.51	2.65	2.78	2.91	3.02	3.14	3.24	3.35	3.45	3.55	3.64	3.73	3.82	3.91
2.46	2.64	2.81	2.96	3.10	3.24	3.37	3.50	3.61	3.73	3.84	3.95	4.05	4.16	4.25
2.69	2.94	3.15	3.35	3.53	3.71	3.87	4.02	4.17	4.32	4.46	4.59	4.72	4.84	4.97
2.13	2.12	2.12	2.13	2.13	2.14	2.14	2.15	2.15	2.16	2.16	2.17	2.18	2.18	2.19
2.18	2.19	2.21	2.24	2.26	2.29	2.31	2.34	2.36	2.38	2.41	2.43	2.46	2.48	2.51
2.22	2.25	2.29	2.32	2.36	2.40	2.44	2.48	2.52	2.55	2.59	2.63	2.67	2.70	2.74
2.27	2.32	2.37	2.43	2.49	2.54	2.60	2.65	2.70	2.76	2.81	2.86	2.91	2.96	3.01
2.33	2.40	2.48	2.56	2.63	2.71	2.78	2.85	2.92	2.99	3.05	3.12	3.18	3.24	3.30
2.41	2.50	2.60	2.70	2.80	2.89	2.98	3.07	3.15	3.23	3.32	3.39	3.47	3.55	3.62
2.49	2.62	2.74	2.86	2.98	3.09	3.20	3.30	3.40	3.50	3.59	3.69	3.78	3.87	3.95
2.59	2.74	2.89	3.04	3.17	3.30	3.43	3.55	3.66	3.78	3.89	3.99	4.09	4.20	4.29
2.81	3.03	3.23	3.42	3.59	3.76	3.92	4.07	4.22	4.36	4.49	4.63	4.75	4.88	5.00
2.35	2.31	2.29	2.28	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.28	2.28	2.29	2.29	2.29	2.30
2.40	2.37	2.37	2.38	2.39	2.41	2.43	2.45	2.47	2.49	2.51	2.53	2.56	2.58	2.60
2.43	2.42	2.44	2.46	2.49	2.52	2.55	2.58	2.62	2.65	2.69	2.72	2.75	2.79	2.82
2.48	2.49	2.52	2.56	2.61	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.89	2.94	2.99	3.04	3.08
2.54	2.57	2.62	2.68	2.74	2.81	2.87	2.94	3.00	3.06	3.13	3.19	3.25	3.31	3.37
2.60	2.66	2.73	2.82	2.90	2.98	3.07	3.15	3.23	3.31	3.38	3.46	3.53	3.61	3.68
2.68	2.76	2.86	2.97	3.07	3.18	3.28	3.37	3.47	3.56	3.66	3.75	3.83	3.92	4.00
2.77	2.88	3.01	3.14	3.26	3.38	3.50	3.62	3.73	3.84	3.94	4.04	4.15	4.24	4.34
2.97	3.15	3.33	3.50	3.67	3.83	3.98	4.13	4.27	4.41	4.54	4.67	4.80	4.92	5.04

简图	η_1	η_2	$K_1=0.25$ 当 K_2 为														
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	0.2	0.2	1.93	1.92	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.92	1.92	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95
		0.4	1.95	1.96	1.98	1.99	2.02	2.04	2.06	2.09	2.11	2.14	2.16	2.19	2.22	2.24	2.27
		0.5	1.98	2.00	2.03	2.06	2.10	2.14	2.18	2.22	2.26	2.31	2.35	2.39	2.43	2.47	2.50
		0.6	2.00	2.05	2.10	2.16	2.22	2.28	2.34	2.39	2.45	2.51	2.56	2.62	2.67	2.73	2.78
		0.7	2.04	2.11	2.19	2.27	2.36	2.44	2.52	2.59	2.67	2.74	2.81	2.88	2.95	3.02	3.08
		0.8	2.09	2.19	2.30	2.41	2.52	2.62	2.72	2.81	2.91	2.99	3.08	3.16	3.24	3.32	3.40
		0.9	2.16	2.30	2.44	2.57	2.70	2.82	2.94	3.05	3.16	3.26	3.36	3.46	3.55	3.65	3.73
		1.0	2.23	2.41	2.59	2.75	2.90	3.04	3.17	3.30	3.43	3.54	3.66	3.77	3.87	3.98	4.08
		1.2	2.44	2.69	2.92	3.13	3.32	3.50	3.67	3.83	3.98	4.13	4.27	4.40	4.53	4.66	4.78
	0.4	0.2	1.93	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97
		0.4	1.96	1.97	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.10	2.13	2.15	2.18	2.21	2.23	2.26	2.28
		0.5	1.98	2.01	2.04	2.08	2.12	2.16	2.20	2.24	2.28	2.32	2.36	2.40	2.44	2.48	2.52
		0.6	2.01	2.06	2.11	2.17	2.23	2.29	2.35	2.41	2.47	2.53	2.58	2.64	2.69	2.74	2.79
		0.7	2.05	2.13	2.21	2.29	2.37	2.45	2.53	2.61	2.68	2.76	2.83	2.90	2.96	3.03	3.09
		0.8	2.10	2.21	2.32	2.43	2.54	2.64	2.74	2.83	2.92	3.01	3.10	3.18	3.26	3.34	3.41
		0.9	2.17	2.31	2.45	2.59	2.72	2.84	2.96	3.07	3.17	3.28	3.38	3.47	3.57	3.66	3.75
		1.0	2.25	2.43	2.60	2.76	2.91	3.06	3.19	3.32	3.44	3.56	3.67	3.78	3.89	3.99	4.09
		1.2	2.46	2.71	2.94	3.15	3.34	3.52	3.68	3.84	3.99	4.14	4.28	4.41	4.54	4.67	4.79
	0.6	0.2	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00
		0.4	1.97	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.10	2.13	2.16	2.18	2.21	2.24	2.26	2.29	2.31
		0.5	2.00	2.03	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39	2.43	2.47	2.51	2.55
		0.6	2.03	2.08	2.14	2.20	2.26	2.32	2.38	2.44	2.50	2.55	2.61	2.66	2.72	2.77	2.82
		0.7	2.07	2.15	2.24	2.32	2.40	2.48	2.56	2.64	2.71	2.78	2.85	2.92	2.99	3.05	3.12
		0.8	2.13	2.24	2.35	2.46	2.57	2.67	2.77	2.86	2.95	3.04	3.12	3.20	3.28	3.36	3.44
		0.9	2.20	2.34	2.49	2.62	2.75	2.87	2.98	3.09	3.20	3.30	3.40	3.50	3.59	3.68	3.76
		1.0	2.28	2.46	2.64	2.80	2.94	3.08	3.22	3.34	3.46	3.58	3.69	3.80	3.91	4.01	4.11
		1.2	2.49	2.75	2.97	3.18	3.37	3.54	3.71	3.86	4.01	4.16	4.30	4.43	4.56	4.69	4.81
	0.8	0.2	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04
		0.4	1.99	2.02	2.04	2.07	2.09	2.12	2.15	2.17	2.20	2.23	2.25	2.28	2.31	2.33	2.36
		0.5	2.02	2.05	2.10	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.36	2.40	2.44	2.47	2.51	2.55	2.59
		0.6	2.06	2.12	2.18	2.25	2.31	2.37	2.43	2.49	2.54	2.60	2.65	2.70	2.76	2.81	2.86
		0.7	2.11	2.20	2.28	2.37	2.45	2.53	2.61	2.68	2.76	2.83	2.89	2.96	3.03	3.09	3.15
		0.8	2.17	2.29	2.40	2.51	2.61	2.71	2.81	2.90	2.99	3.07	3.16	3.24	3.32	3.39	3.47
		0.9	2.24	2.40	2.54	2.67	2.79	2.91	3.03	3.13	3.24	3.34	3.44	3.53	3.62	3.71	3.80
		1.0	2.33	2.52	2.69	2.84	2.99	3.13	3.26	3.38	3.50	3.61	3.72	3.83	3.94	4.04	4.14
		1.2	2.55	2.80	3.02	3.22	3.41	3.58	3.74	3.90	4.04	4.19	4.32	4.46	4.59	4.71	4.83
	1.0	0.2	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.10
		0.4	2.05	2.08	2.11	2.14	2.16	2.19	2.22	2.24	2.27	2.29	2.32	2.34	2.37	2.39	2.42
		0.5	2.09	2.13	2.17	2.22	2.26	2.30	2.34	2.38	2.42	2.46	2.50	2.54	2.57	2.61	2.65
		0.6	2.13	2.20	2.26	2.32	2.38	2.44	2.49	2.55	2.60	2.66	2.71	2.76	2.81	2.86	2.91
		0.7	2.19	2.28	2.36	2.44	2.52	2.60	2.67	2.74	2.81	2.88	2.95	3.01	3.08	3.14	3.20
		0.8	2.25	2.37	2.48	2.58	2.68	2.78	2.87	2.96	3.04	3.13	3.21	3.29	3.36	3.44	3.51
		0.9	2.33	2.48	2.61	2.74	2.86	2.97	3.08	3.19	3.29	3.39	3.48	4.57	3.66	3.75	3.84
		1.0	2.43	2.60	2.76	2.91	3.05	3.18	3.31	3.43	3.55	3.66	3.77	3.87	3.97	4.07	4.17
		1.2	2.64	2.88	3.09	3.28	3.46	3.63	3.79	3.94	4.08	4.23	4.36	4.49	4.62	4.74	4.86
	1.2	0.2	2.15	2.14	2.14	2.14	2.15	2.15	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.19	2.19	2.20
		0.4	2.20	2.21	2.23	2.25	2.27	2.29	2.32	2.34	2.36	2.39	2.41	2.43	2.46	2.48	2.50
		0.5	2.24	2.26	2.29	2.33	2.36	2.40	2.44	2.47	2.51	2.55	2.58	2.62	2.65	2.69	2.72
		0.6	2.28	2.33	2.38	2.43	2.48	2.53	2.59	2.64	2.69	2.74	2.79	2.84	2.89	2.93	2.98
		0.7	2.34	2.40	2.47	2.55	2.62	2.69	2.76	2.82	2.89	2.96	3.02	3.08	3.14	3.20	3.26
		0.8	2.41	2.50	2.59	2.68	2.77	2.86	2.95	3.03	3.11	3.19	3.27	3.35	3.42	3.50	3.57
		0.9	2.48	2.60	2.72	2.83	2.94	3.05	3.16	3.26	3.35	3.45	3.54	3.63	3.72	3.80	3.89
		1.0	2.57	2.72	2.86	3.00	3.13	3.25	3.38	3.49	3.61	3.71	3.82	3.92	4.02	4.12	4.22
		1.2	2.77	2.98	3.18	3.36	3.53	3.69	3.84	3.99	4.14	4.27	4.41	3.53	4.66	4.78	4.90
	1.4	0.2	2.40	2.35	2.33	2.32	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.32	2.33	2.33
		0.4	2.45	2.41	2.41	2.41	2.42	2.44	2.45	2.47	2.49	2.51	2.53	2.55	2.57	2.59	2.61
		0.5	2.48	2.46	2.47	2.49	2.51	2.54	2.57	2.60	2.63	2.66	2.69	2.73	2.76	2.79	2.82
		0.6	2.52	2.52	2.54	2.58	2.62	2.66	2.71	2.75	2.80	2.84	2.89	2.93	2.98	3.02	3.07
		0.7	2.57	2.59	2.63	2.69	2.75	2.81	2.87	2.93	2.99	3.05	3.11	3.17	3.23	3.28	3.34
		0.8	2.62	2.67	2.74	2.82	2.89	2.97	3.05	3.13	3.20	3.28	3.35	3.43	3.50	3.57	3.64
		0.9	2.69	2.77	2.86	2.96	3.05	3.15	3.25	3.34	3.43	3.52	3.61	3.70	3.78	3.87	3.95
		1.0	2.77	2.87	2.99	3.11	3.23	3.35	3.46	3.57	3.68	3.78	3.89	3.99	4.08	4.18	4.27
		1.2	2.95	3.12	3.29	3.45	3.61	3.77	3.92	4.06	4.20	4.33	4.46	4.59	4.71	4.83	4.95



$K_1=\frac{I_1}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_1}$；

$K_2=\frac{I_2}{I_3}\cdot\frac{H_3}{H_2}$；

$\eta_1=\frac{H_1}{H_3}\sqrt{\frac{N_1}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_1}}$；

$\eta_2=\frac{H_2}{H_3}\sqrt{\frac{N_2}{N_3}\cdot\frac{I_3}{I_2}}$；

N_1—上段柱的轴心力；

N_2—中段柱的轴心力；

N_3—下段柱的轴心力。

注：表中的计算长度系数 μ 值系按右式算得：$\frac{K_1\eta_1}{K_2\eta_2}\cdot\operatorname{ctg}\frac{\pi\eta_1}{\mu}\cdot\operatorname{ctg}\frac{\pi\eta_2}{\mu}+\frac{K_1\eta_1}{(K_2\eta_2)^2}\cdot\operatorname{ctg}\frac{\pi\eta_1}{\mu}\cdot\operatorname{ctg}\frac{\pi}{\mu}+\frac{1}{K_2\eta_2}$

续表

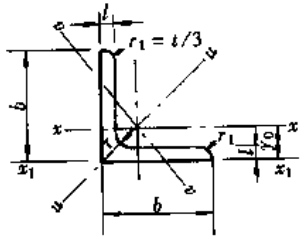
$K_1 = 0.30$														
当 K_2 为														
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
1.92	1.91	1.90	1.89	1.89	1.89	1.90	1.90	1.90	1.90	1.91	1.91	1.92	1.92	1.93
1.95	1.95	1.96	1.97	1.99	2.01	2.04	2.06	2.08	2.11	2.13	2.16	2.18	2.21	2.23
1.97	1.98	2.01	2.04	2.08	2.11	2.15	2.19	2.23	2.27	2.30	2.34	2.38	2.42	2.46
1.99	2.03	2.08	2.13	2.18	2.24	2.29	2.35	2.41	2.46	2.52	2.57	2.62	2.67	2.72
2.03	2.09	2.16	2.24	2.31	2.39	2.47	2.54	2.61	2.69	2.75	2.82	2.89	2.95	3.02
2.07	2.16	2.27	2.37	2.47	2.57	2.66	2.75	2.84	2.93	3.01	3.10	3.17	3.25	3.33
2.13	2.26	2.39	2.52	2.64	2.76	2.88	2.98	3.09	3.19	3 29	3.38	3.48	3.57	3.65
2.20	2.37	2.53	2.69	2.83	2.97	3.10	3.23	3.35	3 46	3.57	3.68	3.79	3.89	3.99
2.39	2.63	2.85	3.05	3.24	3.42	3.58	3.74	3.89	4.03	4.17	4.30	4.43	4.55	4.67
1.92	1.91	1.91	1.90	1.90	1.91	1.91	1.91	1.92	1.92	1.92	1.93	1.93	1.94	1.94
1.95	1.96	1.97	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.10	2.12	2.15	2.17	2.20	2.22	2.25
1.97	1.99	2.02	2.05	2.09	2.13	2.17	2.21	2.25	2.28	2.32	2.36	2.40	2.44	2.48
2.00	2.04	2.09	2.14	2.20	2.26	2.31	2.37	2.42	2.48	2.53	2.59	2.64	2.69	2.74
2.04	2.10	2.18	2.25	2.33	2.41	2.49	2.56	2.63	2.70	2.77	2.84	2.91	2.97	3.03
2.08	2.18	2.28	2.39	2.49	2.59	2.68	2.77	2.86	2.95	3.03	3.11	3.19	3.27	3.34
2.14	2.27	2.41	2.54	2.66	2.78	2.89	3.00	3.11	3.21	3.31	3.40	3.49	3.58	3.67
2.22	2.39	2.55	2.71	2.85	2.99	3.12	3.24	3.36	3.48	3.59	3.70	3.80	3.90	4.00
2.41	2.65	2.87	3.07	3.26	3.43	3.60	3.75	3.90	4.04	4.18	4.31	4.40	4.56	4.69
1.93	1.93	1.92	1.92	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98
1.96	1.97	1.99	2.01	2.03	2.06	2.08	2 11	2.13	2.16	2.18	2.21	2.23	2.26	2.28
1.98	2.01	2.04	2.08	2.12	2.16	2.20	2.24	2.28	2.32	2.36	2.39	2.43	2.47	2.51
2.02	2.06	2.12	2.17	2.23	2.29	2.35	2.40	2.46	2.51	2.57	2.62	2.67	2.72	2.77
2.06	2.13	2.21	2.29	2.37	2.44	2.52	2.59	2.66	2.73	2.80	2.87	2.93	3.00	3.06
2.11	2.21	2.32	2.42	2.52	2.62	2.71	2.80	2.89	2.98	3.06	3.14	3.22	3.29	3.37
2.17	2.31	2.44	2.57	2.70	2.81	2.93	3.03	3.14	3.24	3.33	3.43	3.52	3.60	3.69
2.25	2.42	2.59	2.74	2.88	3.02	3.15	3.27	3.39	3.50	3.61	3.72	3.82	3.92	4.02
2.44	2.69	2.91	3.11	3.29	3.46	4.62	3.78	3.93	4.07	4.20	4.33	4.46	4.58	4.70
1.96	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.02
1.99	2.01	2.03	2 05	2.08	2.10	2.13	2.15	2.18	2.21	2.23	2.26	2.28	2.31	2.33
2.01	2.05	2.09	2.13	2.17	2.21	2.25	2.29	2.33	2.37	2.41	2.44	2.48	2.52	2.56
2.05	2.10	2.16	2.22	2.28	2.34	2.40	2.45	2.51	2.56	2.61	2.67	2.72	2.77	2.81
2.09	2.18	2.26	2.34	2.42	2.49	2.57	2.64	2.71	2.78	2.85	2.91	2.98	3.04	3.10
2.15	2.26	2.37	2.47	2.57	2.67	2.76	2.85	2.94	3.02	3.10	3.18	3.26	3.33	3.41
2.22	2.36	2.50	2.63	2.75	2.86	2.97	3.08	3.18	3.28	3.37	3.46	3.55	3.64	3.72
2.30	2.48	2.64	2.79	2.93	3.07	3.19	3.31	3.43	3.54	3.65	3.76	3.86	3.96	4.05
2.50	2.74	2.96	3.15	3.33	3.50	3.66	3.81	3.96	4.10	4.23	4.36	4.49	4.61	4.73
2.01	2.02	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10
2.05	2.08	2.10	2.13	2.16	2.18	2.21	2.23	2.26	2.28	2.31	2.33	2.35	2.38	2.40
2.08	2.13	2.17	2.21	2.25	2.29	2.33	2.36	2.40	2.44	2.48	2.51	2.55	2.59	2.62
2.13	2.19	2.25	2.30	2.36	2.42	2.47	2.53	2.58	2.63	2.68	2.73	2.78	2.83	2.88
2.18	2.26	2.34	2.42	2.50	2.57	2.64	2.71	2.78	2.84	2.91	2.97	3.04	3.10	3.16
2.24	2.35	2.45	2.55	2.65	2.74	2.83	2.92	3.00	3.08	3.16	3.24	3.31	3.38	3.46
2.31	2.45	2.58	2.70	2.82	2.93	3.03	3.14	3.24	3.33	3.42	3.51	3.60	3.69	3.77
2.40	2.57	2.72	2.86	3.00	3.13	3.25	3.37	3.49	3.59	3.70	3.80	3.90	4.00	4.09
2.60	2.83	3.03	3.22	3.39	3.56	3.71	3.86	4.01	4.14	4.28	4.40	4.53	4.65	4.77
2.17	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.19	2.19	2.20	2.20	2.21
2.22	2.22	2.24	2.26	2.28	2.30	2.32	2.34	2.36	2.39	2.41	2.43	2.45	2.48	2.50
2.25	2.27	2.30	2.33	2.37	2.40	2.44	2.47	2.50	2.54	2.57	2.61	2.64	2.68	2.71
2.29	2.33	2.38	2.43	2.48	2.53	2.58	2.62	2.67	2.72	2.77	2.82	2.86	2.91	2.95
2.34	2.40	2.47	2.54	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.93	2.99	3.05	3.11	3.17	3.23
2.41	2.49	2.58	2.67	2.75	2.84	2.92	3.00	3.08	3.16	3.23	3.31	3.38	3.45	3.52
2.48	2.59	2.70	2.81	2.91	3.02	3.12	3.21	3.31	3.40	3.49	3.58	3.66	3.75	3.83
2.56	2.69	2.83	2.96	3.09	3.21	3.33	3.44	3.55	3.66	3.76	3.85	3.96	4.05	4.15
2.74	2.94	3.13	3.30	3.47	3.63	3.78	3.92	4.06	4.20	4.33	4.45	4.58	4.69	4.81
2.45	2.40	2.37	2.35	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.35	2.35	2.35	2.36
2.48	2.45	2.44	2.44	2.45	2.46	2.48	2.49	2.51	2.53	2.55	2.57	2.58	2.60	2.62
2.51	2.49	2.50	2.51	2.53	2.56	2.58	2.61	2.64	2.67	2.70	2.73	2.76	2.79	2.82
2.55	2.54	2.56	2.60	2.63	2.67	2.71	2.75	2.80	2.84	2.88	2.93	2.97	3.01	3.05
2.59	2.61	2.65	2.70	2.75	2.81	2.86	2.92	2.98	3.04	3.09	3.15	3.21	3.26	3.31
2.64	2.68	2.74	2.81	2.89	2.96	3.04	3.11	3.18	3.25	3.33	3.39	3.46	3.53	3.60
2.70	2.77	2.86	2.95	3.04	3.13	3.22	3.31	3.40	3.49	3.57	3.66	3.74	3.82	3.90
2.77	2.87	2.98	3.09	3.20	3.32	3.43	3.53	3.64	3.74	3.84	3.93	4.03	4.12	4.21
2.94	3.09	3.26	3.41	3.57	3.72	3.86	4.00	4.13	4.26	4.39	4.51	4.63	4.75	4.86

$$\operatorname{ctg}\frac{\pi\eta_2}{\mu}\cdot\operatorname{ctg}\frac{\pi}{\mu}-1=0$$

16 钢材的规格及截面特性

(1) 型钢的规格及截面特性

1) 热轧等边角钢的规格及截面特性（按 GB/T 9787—1988 计算）



I—截面惯性矩；

W—截面模量；

i—截面回转半径。

表 16-1

型号	尺寸 (mm)			截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	y_0 (cm)	截面特性												
							$x-x$ 轴				$u-u$ 轴			$v-v$ 轴				x_1-x_1 轴
	b	t	r				I_x (cm^4)	$W_{x_{max}}$ (cm^3)	$W_{x_{min}}$ (cm^3)	i_x (cm)	I_u (cm^4)	W_u (cm^3)	i_v (cm)	I_v (cm^4)	$W_{v_{max}}$ (cm^3)	$W_{v_{min}}$ (cm^3)	i_v (cm)	I_{x1} (cm^4)
L20×3	20	3	3.5	1.13	0.89	0.60	0.40	0.66	0.29	0.59	0.63	0.45	0.75	0.17	0.23	0.20	0.39	0.81
L20×4		4		1.46	1.15	0.64	0.50	0.78	0.36	0.58	0.78	0.55	0.73	0.22	0.29	0.24	0.38	1.09
L25×3	25	3	3.5	1.43	1.12	0.73	0.82	1.12	0.46	0.76	1.29	0.73	0.95	0.34	0.37	0.33	0.49	1.57
L25×4		4		1.86	1.46	0.76	1.03	1.34	0.59	0.74	1.62	0.92	0.93	0.43	0.47	0.40	0.48	2.11
L30×3	30	3	4.5	1.75	1.37	0.85	1.46	1.72	0.68	0.91	2.31	1.09	1.15	0.61	0.56	0.51	0.59	2.71
L30×4		4		2.28	1.79	0.89	1.84	2.08	0.87	0.90	2.92	1.37	1.13	0.77	0.71	0.62	0.58	3.63
L36×3	36	3	4.5	2.11	1.66	1.00	2.58	2.59	0.99	1.11	4.09	1.61	1.39	1.07	0.82	0.76	0.71	4.67
L36×4		4		2.76	2.16	1.04	3.29	3.18	1.28	1.09	5.22	2.05	1.38	1.37	1.05	0.93	0.70	6.25
L36×5		5		3.38	2.65	1.07	3.95	3.68	1.56	1.08	6.24	2.45	1.36	1.65	1.26	1.09	0.70	7.84
L40×3	40	3	5	2.36	1.85	1.09	3.59	3.28	1.23	1.23	5.69	2.01	1.55	1.49	1.03	0.96	0.79	6.41
L40×4		4		3.09	2.42	1.13	4.60	4.05	1.60	1.22	7.29	2.58	1.54	1.91	1.31	1.19	0.79	8.56
L40×5		5		3.79	2.98	1.17	5.53	4.72	1.96	1.21	8.76	3.10	1.52	2.30	1.58	1.39	0.78	10.74

续表

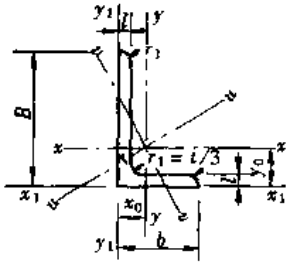
型号	尺寸 (mm)			截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性												
						y_0 (cm)	$x-x$ 轴				$u-u$ 轴			$v-v$ 轴				x_1-x_1 轴
	b	t	r				I_x (cm^4)	$W_{x_{max}}$ (cm^3)	$W_{x_{min}}$ (cm^3)	i_x (cm)	I_u (cm^4)	W_u (cm^3)	i_u (cm)	I_v (cm^4)	$W_{v_{max}}$ (cm^3)	$W_{v_{min}}$ (cm^3)	i_v (cm)	I_{x1} (cm^4)
L45×3	45	3	5	2.66	2.09	1.22	5.17	4.25	1.58	1.39	8.20	2.58	1.76	2.14	1.31	1.24	0.90	9.12
L45×4		4		3.49	2.74	1.26	6.65	5.29	2.05	1.38	10.56	3.32	1.74	2.75	1.69	1.54	0.89	12.18
L45×5		5		4.29	3.37	1.30	8.04	6.20	2.51	1.37	12.74	4.01	1.72	3.33	2.04	1.81	0.88	15.25
L45×6		6		5.08	3.99	1.33	9.33	6.99	2.95	1.36	14.76	4.64	1.71	3.89	2.38	2.06	0.88	18.36
L50×3	50	3	5.5	2.97	2.33	1.34	7.18	5.36	1.96	1.55	11.37	3.22	1.96	2.98	1.64	1.57	1.00	12.50
L50×4		4		3.90	3.06	1.38	9.26	6.70	2.56	1.54	14.69	4.16	1.94	3.82	2.11	1.96	0.99	16.69
L50×5		5		4.80	3.77	1.42	11.21	7.90	3.13	1.53	17.79	5.03	1.92	4.63	2.56	2.31	0.98	20.90
L50×6		6		5.69	4.46	1.46	13.05	8.95	3.68	1.51	20.68	5.85	1.91	5.42	2.98	2.63	0.98	25.14
L56×3	56	3	6	3.34	2.62	1.48	10.19	6.86	2.48	1.75	16.14	4.08	2.20	4.24	2.09	2.02	1.13	17.56
L56×4		4		4.39	3.45	1.53	13.18	8.63	3.24	1.73	20.92	5.28	2.18	5.45	2.69	2.52	1.11	23.43
L56×5		5		5.42	4.25	1.57	16.02	10.22	3.97	1.72	25.42	6.42	2.17	6.61	3.26	2.98	1.10	29.33
L56×8		8		8.37	6.57	1.68	23.63	14.06	6.03	1.68	37.37	9.44	2.11	9.89	4.85	4.16	1.09	47.24
L63×4	63	4	7	4.98	3.91	1.70	19.03	11.22	4.13	1.96	30.17	6.77	2.46	7.89	3.45	3.29	1.26	33.35
L63×5		5		6.14	4.82	1.74	23.17	13.33	5.08	1.94	36.77	8.25	2.45	9.57	4.20	3.90	1.25	41.73
L63×6		6		7.29	5.72	1.78	27.12	15.26	6.00	1.93	43.03	9.66	2.43	11.20	4.91	4.46	1.24	50.14
L63×8		8		9.51	7.47	1.85	34.46	18.59	7.75	1.90	54.56	12.25	2.39	14.33	6.26	5.47	1.23	67.11
L63×10		10		11.66	9.15	1.93	41.09	21.34	9.39	1.88	64.85	14.56	2.36	17.33	7.53	6.37	1.22	84.31
L70×4	70	4	8	5.57	4.37	1.86	26.39	14.16	5.14	2.18	41.80	8.44	2.74	10.99	4.32	4.17	1.40	45.74
L70×5		5		6.88	5.40	1.91	32.21	16.89	6.32	2.16	51.08	10.32	2.73	13.34	5.26	4.95	1.39	57.21
L70×6		6		8.16	6.41	1.95	37.77	19.39	7.48	2.15	59.93	12.11	2.71	15.61	6.16	5.67	1.38	68.73
L70×7		7		9.42	7.40	1.99	43.09	21.68	8.59	2.14	68.35	13.81	2.69	17.82	7.02	6.34	1.38	80.29
L70×8		8		10.67	8.37	2.03	48.17	23.79	9.68	2.13	76.37	15.43	2.68	19.98	7.86	6.98	1.37	91.92
L75×5	75	5	9	7.41	5.82	2.03	39.96	19.73	7.30	2.32	63.30	11.94	2.92	16.61	6.10	5.80	1.50	70.36
L75×6		6		8.80	6.91	2.07	46.91	22.69	8.63	2.31	74.38	14.02	2.91	19.43	7.14	6.65	1.49	84.51
L75×7		7		10.16	7.98	2.11	53.37	25.42	9.93	2.30	84.96	16.02	2.89	22.18	8.15	7.44	1.48	98.71
L75×8		8		11.50	9.03	2.15	59.96	27.93	11.20	2.28	95.07	17.93	2.87	24.86	9.13	8.19	1.47	112.97
L75×10		10		14.13	11.09	2.22	71.98	32.40	13.64	2.26	113.92	21.48	2.84	30.05	11.01	9.56	1.46	141.71
L80×5	80	5	9	7.91	6.21	2.15	48.79	22.70	8.34	2.48	77.33	13.67	3.13	20.25	6.98	6.66	1.60	85.86
L80×6		6		9.40	7.38	2.19	57.35	26.18	9.87	2.47	90.98	16.08	3.11	23.72	8.18	7.65	1.59	102.50
L80×7		7		10.86	8.53	2.23	65.58	29.38	11.37	2.46	104.07	18.40	3.10	27.10	9.35	8.58	1.58	119.70
L80×8		8		12.30	9.66	2.27	73.50	32.36	12.83	2.44	116.60	20.61	3.08	30.39	10.48	9.46	1.57	136.97
L80×10		10		15.18	11.87	2.35	88.45	37.68	15.64	2.42	140.09	24.76	3.04	36.77	12.65	11.08	1.56	171.74
L90×6	90	6	10	10.64	8.35	2.44	82.77	33.99	12.61	2.79	131.26	20.63	3.51	34.28	10.51	9.95	1.80	145.87
L90×7		7		12.30	9.66	2.48	94.83	38.28	14.54	2.78	150.47	23.64	3.50	39.18	12.02	11.19	1.78	170.30
L90×8		8		13.94	10.95	2.52	106.47	42.30	16.42	2.76	168.97	26.55	3.48	43.97	13.49	12.35	1.78	194.80
L90×10		10		17.17	13.48	2.59	128.58	49.57	20.07	2.74	203.90	32.04	3.45	53.26	16.31	14.52	1.76	244.08
L90×12		12		20.31	15.94	2.67	149.22	55.93	23.57	2.71	236.21	37.12	3.41	62.22	19.01	16.49	1.75	293.77

续表

型号	尺寸 (mm)			截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性											
						y_0 (cm)	$x-x$ 轴				$u-u$ 轴			$v-v$ 轴				x_1-x_1 轴
	b	t	r				I_x (cm^4)	$W_{x_{max}}$ (cm^3)	$W_{x_{min}}$ (cm^3)	i_x (cm)	I_u (cm^4)	W_u (cm^3)	i_u (cm)	I_v (cm^4)	$W_{v_{max}}$ (cm^3)	$W_{v_{min}}$ (cm^3)	i_v (cm)	I_{x1} (cm^4)
L100×6	100	6	12	11.93	9.37	2.67	114.95	43.04	15.68	3.10	181.98	25.74	3.91	47.92	13.18	12.69	2.00	200.07
L100×7		7		13.80	10.83	2.71	131.86	48.57	18.10	3.09	208.97	29.55	3.89	54.74	15.08	14.26	1.99	233.54
L100×8		8		15.64	12.28	2.76	148.24	53.78	20.47	3.08	235.07	33.24	3.88	61.41	16.93	15.75	1.98	267.09
L100×10		10		19.26	15.12	2.84	179.51	63.29	25.06	3.05	284.68	40.26	3.84	74.35	20.49	18.54	1.96	334.43
L100×12		12		22.80	17.90	2.91	208.90	71.72	29.47	3.03	330.95	46.80	3.81	86.84	23.89	21.08	1.95	402.34
L100×14		14		26.26	20.61	2.99	236.53	79.19	33.73	3.00	374.06	52.90	3.77	98.99	27.17	23.44	1.94	470.75
L100×16		16		29.63	23.26	3.06	262.53	85.81	37.82	2.98	414.16	58.57	3.74	110.89	30.34	25.63	1.93	539.80
L110×7	110	7	12	15.20	11.93	2.96	177.16	59.78	22.05	3.41	280.94	36.12	4.30	73.38	18.41	17.51	2.20	310.64
L110×8		8		17.24	13.53	3.01	199.46	66.36	24.95	3.40	316.49	40.69	4.28	82.42	20.70	19.39	2.19	355.21
L110×10		10		21.26	16.69	3.09	242.19	78.48	30.60	3.38	384.39	49.42	4.25	99.98	25.10	22.91	2.17	444.65
L110×12		12		25.20	19.78	3.16	282.55	89.34	36.05	3.35	448.17	57.62	4.22	116.93	29.32	26.15	2.15	534.60
L110×14		14		29.06	22.81	3.24	320.71	99.07	41.31	3.32	508.01	65.31	4.18	133.40	33.38	29.14	2.14	625.16
L125×8	125	8	14	19.75	15.50	3.37	297.03	88.20	32.52	3.88	470.89	53.28	4.88	123.16	27.18	25.86	2.50	521.01
L125×10		10		24.37	19.13	3.45	361.67	104.81	39.97	3.85	573.89	64.93	4.85	149.46	33.01	30.62	2.48	651.93
L125×12		12		28.91	22.70	3.53	423.16	119.88	47.17	3.83	671.44	75.96	4.82	174.88	38.61	35.03	2.46	783.42
L125×14		14		33.37	26.19	3.61	481.65	133.56	54.16	3.80	763.73	86.41	4.78	199.57	44.00	39.13	2.45	915.61
L140×10	140	10	14	27.37	21.49	3.82	514.65	134.55	50.58	4.34	817.27	82.56	5.46	212.04	41.91	39.20	2.78	915.11
L140×12		12		32.51	25.52	3.90	603.68	154.62	59.80	4.31	958.79	96.85	5.43	248.57	49.12	45.02	2.77	1099.28
L140×14		14		37.57	29.49	3.98	688.81	173.02	68.75	4.28	1093.56	110.47	5.40	284.06	56.07	50.45	2.75	1284.22
L140×16		16		42.54	33.39	4.06	770.24	189.90	77.46	4.26	1221.81	123.42	5.36	318.67	62.81	55.55	2.74	1470.07
L160×10	160	10	16	31.50	24.73	4.31	779.53	180.77	66.70	4.97	1237.30	109.36	6.27	321.76	55.63	52.76	3.20	1365.33
L160×12		12		37.44	29.39	4.39	916.58	208.58	78.98	4.95	1455.68	128.67	6.24	377.49	65.29	60.74	3.18	1639.57
L160×14		14		43.30	33.99	4.47	1048.36	234.37	90.95	4.92	1665.02	147.17	6.20	431.70	74.63	68.24	3.16	1914.68
L160×16		16		49.07	38.52	4.55	1175.08	258.27	102.63	4.89	1865.57	164.89	6.17	484.59	83.70	75.31	3.14	2190.82
L180×12	180	12	16	42.24	33.16	4.89	1321.35	270.03	100.82	5.59	2100.10	165.00	7.05	542.61	83.60	78.41	3.58	2332.80
L180×14		14		48.90	38.38	4.97	1514.48	304.57	116.25	5.57	2407.42	189.15	7.02	621.53	95.73	88.38	3.57	2723.48
L180×16		16		55.47	43.54	5.05	1700.99	336.86	131.35	5.54	2703.37	212.40	6.98	698.60	107.52	97.83	3.55	3115.29
L180×18		18		61.95	48.63	5.13	1881.12	367.05	146.11	5.51	2988.24	234.78	6.94	774.01	119.00	106.79	3.53	3508.42
L200×14	200	14	18	54.64	42.89	5.46	2103.55	385.08	144.70	6.20	3343.26	236.40	7.82	863.83	119.75	111.82	3.98	3734.10
L200×16		16		62.01	48.68	5.54	2366.15	426.99	163.65	6.18	3760.88	265.93	7.79	971.41	134.62	123.96	3.96	4270.39
L200×18		18		69.30	54.40	5.62	2620.64	466.45	182.22	6.15	4164.54	294.48	7.75	1076.74	149.11	135.52	3.94	4808.13
L200×20		20		76.50	60.06	5.69	2867.30	503.58	200.42	6.12	4554.55	322.06	7.72	1180.04	163.26	146.55	3.93	5347.51
L200×24		24		90.66	71.17	5.84	3338.20	571.45	235.78	6.07	5294.97	374.41	7.64	1381.43	190.63	167.22	3.90	6431.99

注：等边角钢的通常长度：L20～L40，为4～12m，L45～L90，为4～12m；L100～L140，为4～19m；L160～L200，为6～19m。

2）热轧不等边角钢的规格及截面特性（按 GB/T 9788—1988 计算）



I—截面惯性矩；

W—截面抵抗矩；

i—截面回转半径。

表 16-2

型号	尺寸 (mm)				截面面积 A (cm²)	每米重量 (kg/m)	截面特性															
							x_0 (cm)	y_0 (cm)	$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				x_1-x_1 轴	y_1-y_1 轴	$v-v$ 轴			
	B	b	t	r					I_x (cm⁴)	$W_{x_{max}}$ (cm³)	$W_{x_{min}}$ (cm³)	i_x (cm)	I_y (cm⁴)	$W_{y_{max}}$ (cm³)	$W_{y_{min}}$ (cm³)	i_y (cm)	I_{x_1} (cm⁴)	I_{y_1} (cm⁴)	I_v (cm⁴)	W_v (cm³)	i_v (cm)	$\tg\alpha$
L25×16×3	25	16	3	3.5	1.16	0.91	0.42	0.86	0.70	0.82	0.43	0.78	0.22	0.53	0.19	0.44	1.56	0.43	0.13	0.16	0.34	0.392
L25×16×4			4		1.50	1.18	0.46	0.90	0.88	0.98	0.55	0.77	0.27	0.60	0.24	0.43	2.09	0.59	0.17	0.20	0.34	0.381
L32×20×3	32	20	3	3.5	1.49	1.17	0.49	1.08	1.53	1.41	0.72	1.01	0.46	0.93	0.30	0.55	3.27	0.82	0.28	0.25	0.43	0.382
L32×20×4			4		1.94	1.52	0.53	1.12	1.93	1.72	0.93	1.00	0.57	1.08	0.39	0.54	4.37	1.12	0.35	0.32	0.43	0.374
L40×25×3	40	25	3	4	1.89	1.48	0.59	1.32	3.08	2.32	1.15	1.28	0.93	1.59	0.49	0.70	6.39	1.59	0.56	0.40	0.54	0.386
L40×25×4			4		2.47	1.94	0.63	1.37	3.93	2.88	1.49	1.26	1.18	1.88	0.63	0.69	8.53	2.14	0.71	0.52	0.54	0.381
L45×28×3	45	28	3	5	2.15	1.69	0.64	1.47	4.45	3.02	1.47	1.44	1.34	2.08	0.62	0.79	9.10	2.23	0.80	0.51	0.61	0.383
L45×28×4			4		2.81	2.20	0.68	1.51	5.70	3.76	1.91	1.43	1.70	2.49	0.80	0.78	12.14	3.00	1.02	0.66	0.60	0.380
L50×32×3	50	32	3	5.5	2.43	1.91	0.73	1.60	6.24	3.89	1.84	1.60	2.02	2.78	0.82	0.91	12.49	3.31	1.20	0.68	0.70	0.404
L50×32×4			4		3.18	2.49	0.77	1.65	8.02	4.86	2.39	1.59	2.58	3.36	1.06	0.90	16.65	4.45	1.53	0.87	0.69	0.402
L56×36×3	56	36	3	6	2.74	2.15	0.80	1.78	8.88	5.00	2.32	1.80	2.92	3.63	1.05	1.03	17.54	4.70	1.73	0.87	0.79	0.408
L56×36×4			4		3.59	2.82	0.85	1.82	11.45	6.28	3.03	1.79	3.74	4.43	1.36	1.02	23.39	6.31	2.21	1.12	0.78	0.407
L56×36×5			5		4.42	3.47	0.88	1.87	13.86	7.43	3.71	1.77	4.49	5.09	1.65	1.01	29.24	7.94	2.67	1.36	0.78	0.404

续表

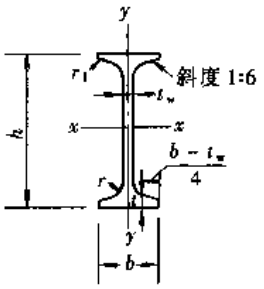
型号	尺寸 (mm)				截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性														
							x_0 (cm)	y_0 (cm)	$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				x_1-x_1 轴	y_1-y_1 轴	$v-v$ 轴			
	B	b	t	r					I_x (cm^4)	$W_{x_{max}}$ (cm^3)	$W_{x_{min}}$ (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	$W_{y_{max}}$ (cm^3)	$W_{y_{min}}$ (cm^3)	i_y (cm)	I_{x_1} (cm^4)	I_{y_1} (cm^4)	I_v (cm^4)	W_v (cm^3)	i_v (cm)	$\tg\alpha$
L63×40×4	63	40	4	7	4.06	3.19	0.92	2.04	16.49	8.10	3.87	2.02	5.23	5.72	1.70	1.14	33.30	8.63	3.12	1.40	0.88	0.398
L63×40×5			5		4.99	3.92	0.95	2.08	20.02	9.62	4.74	2.00	6.31	6.61	2.07	1.12	41.63	10.86	3.76	1.71	0.87	0.396
L63×40×6			6		5.91	4.64	0.99	2.12	23.36	11.01	5.59	1.99	7.31	7.36	2.43	1.11	49.98	13.14	4.38	2.01	0.86	0.393
L63×40×7			7		6.80	5.34	1.03	2.16	26.53	12.27	6.41	1.97	8.24	8.00	2.78	1.10	58.34	15.47	4.97	2.29	0.86	0.389
L70×45×4	70	45	4	7.5	4.55	3.57	1.02	2.23	22.97	10.28	4.82	2.25	7.55	7.43	2.17	1.29	45.68	12.26	4.47	1.79	0.99	0.408
L70×45×5			5		5.61	4.40	1.06	2.28	27.95	12.26	5.92	2.23	9.13	8.64	2.65	1.28	57.10	15.39	5.40	2.19	0.98	0.407
L70×45×6			6		6.64	5.22	1.10	2.32	32.70	14.08	6.99	2.22	10.62	9.69	3.12	1.26	68.54	18.59	6.29	2.57	0.97	0.405
L70×45×7			7		7.66	6.01	1.13	2.36	37.22	15.75	8.03	2.20	12.01	10.60	3.57	1.25	79.99	21.84	7.16	2.94	0.97	0.402
L75×50×5	75	50	5	8	6.13	4.81	1.17	2.40	35.09	14.65	6.87	2.39	12.61	10.75	3.30	1.43	70.23	21.04	7.32	2.72	1.09	0.436
L75×50×6			6		7.26	5.70	1.21	2.44	41.12	16.86	8.12	2.38	14.70	12.12	3.88	1.42	84.30	25.37	8.54	3.19	1.08	0.435
L75×50×8			8		9.47	7.43	1.29	2.52	52.39	20.79	10.52	2.35	18.53	14.39	4.99	1.40	112.50	34.23	10.87	4.10	1.07	0.429
L75×50×10			10		11.59	9.10	1.36	2.60	62.71	24.15	12.79	2.33	21.96	16.14	6.04	1.38	140.82	43.43	13.10	4.99	1.06	0.423
L80×50×5	80	50	5	8	6.38	5.00	1.14	2.60	41.96	16.11	7.78	2.57	12.82	11.28	3.32	1.42	85.21	21.06	7.66	2.74	1.10	0.388
L80×50×6			6		7.56	5.93	1.18	2.65	49.21	18.58	9.20	2.55	14.95	12.71	3.91	1.41	102.26	25.41	8.94	3.23	1.09	0.386
L80×50×7			7		8.72	6.85	1.21	2.69	56.16	20.87	10.58	2.54	16.96	13.96	4.48	1.39	119.32	29.82	10.18	3.70	1.08	0.384
L80×50×8			8		9.87	7.75	1.25	2.73	62.83	23.00	11.92	2.52	18.85	15.06	5.03	1.38	136.41	34.32	11.38	4.16	1.07	0.381
L90×56×5	90	56	5	9	7.21	5.66	1.25	2.91	60.45	20.81	9.92	2.90	18.33	14.70	4.21	1.59	121.32	29.53	10.98	3.49	1.23	0.385
L90×56×6			6		8.56	6.72	1.29	2.95	71.03	24.06	11.74	2.88	21.42	16.65	4.97	1.58	145.59	35.58	12.82	4.10	1.22	0.834
L90×56×7			7		9.88	7.76	1.33	3.00	81.22	27.12	13.53	2.87	24.36	18.38	5.70	1.57	169.87	41.71	14.60	4.70	1.22	0.383
L90×56×8			8		11.18	8.78	1.36	3.04	91.03	29.98	15.27	2.85	27.15	19.91	6.41	1.56	194.17	47.93	16.34	5.29	1.21	0.380
L100×63×6	100	63	6	10	9.62	7.55	1.43	3.24	99.06	30.62	14.64	3.21	30.94	21.69	6.35	1.79	199.71	50.50	18.42	5.25	1.38	0.394
L100×63×7			7		11.11	8.72	1.47	3.28	113.45	34.59	16.88	3.20	35.26	24.06	7.29	1.78	233.00	59.14	21.00	6.02	1.37	0.393
L100×63×8			8		12.58	9.88	1.50	3.32	127.37	38.33	19.08	3.18	39.39	26.18	8.21	1.77	266.32	67.88	23.50	6.78	1.37	0.391
L100×63×10			10		15.47	12.14	1.58	3.40	153.81	45.18	23.32	3.15	47.12	29.83	9.98	1.75	333.06	85.73	28.33	8.24	1.35	0.387
L100×80×6	100	80	6	10	10.64	8.35	1.97	2.95	107.04	36.24	15.19	3.17	61.24	31.03	10.16	2.40	199.83	102.68	31.65	8.37	1.73	0.627
L100×80×7			7		12.30	9.66	2.01	3.00	122.73	40.96	17.52	3.16	70.08	34.79	11.17	2.39	233.20	116.98	36.17	9.60	1.71	0.626
L100×80×8			8		13.94	10.95	2.05	3.04	137.92	45.40	19.81	3.15	78.58	38.27	13.21	2.37	266.61	137.37	40.58	10.80	1.71	0.625
L100×80×10			10		17.17	13.48	2.13	3.12	166.87	53.54	24.24	3.12	94.65	44.45	16.12	2.35	333.63	172.48	49.10	13.12	1.69	0.622

续表

型号	尺寸(mm)				截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性															
							x_0 (cm)	y_0 (cm)	$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				x_1-x_1 轴	y_1-y_1 轴	$v-v$ 轴			
	B	b	t	r					I_x (cm^4)	$W_{x_{max}}$ (cm^3)	$W_{x_{min}}$ (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	$W_{y_{max}}$ (cm^3)	$W_{y_{min}}$ (cm^3)	i_y (cm)	I_{x_1} (cm^4)	I_{y_1} (cm^4)	I_v (cm^4)	W_v (cm^3)	i_v (cm)	$tg\alpha$
L110×70×6	110	70	6	10	10.64	8.35	1.57	3.53	133.37	37.80	17.85	3.54	42.92	27.36	7.90	2.01	265.78	69.08	25.36	6.53	1.54	0.403
L110×70×7			7		12.30	9.66	1.61	3.57	153.00	42.82	20.60	3.53	49.02	30.48	9.09	2.00	310.07	80.83	28.96	7.50	1.53	0.402
L110×70×8			8		13.94	10.95	1.65	3.62	172.04	47.57	23.30	3.51	54.87	33.31	10.25	1.98	354.39	92.70	32.45	8.45	1.53	0.401
L110×70×10			10		17.17	13.48	1.72	3.70	208.39	56.36	28.54	3.48	65.88	38.24	12.48	1.96	443.13	116.83	39.20	10.29	1.51	0.397
L125×80×7	125	80	7	11	14.10	11.07	1.80	4.01	227.98	56.81	26.86	4.02	74.42	41.24	12.01	2.30	454.99	120.32	43.81	9.92	1.76	0.408
L125×80×8			8		15.99	12.55	1.84	4.06	256.77	63.28	30.41	4.01	83.49	45.28	13.56	2.29	519.99	137.85	49.15	11.18	1.75	0.407
L125×80×10			10		19.71	15.47	1.92	4.14	312.04	75.35	37.33	3.98	100.67	52.41	16.56	2.26	650.09	173.40	59.45	13.64	1.74	0.404
L125×80×12			12		23.35	18.33	2.00	4.22	364.41	86.34	44.01	3.95	116.67	58.46	19.43	2.24	780.39	209.67	69.35	16.01	1.72	0.400
L140×90×8	140	90	8	12	18.04	14.16	2.04	4.50	365.64	81.30	38.48	4.50	120.69	59.15	17.34	2.59	730.53	195.79	70.83	14.31	1.98	0.411
L140×90×10			10		22.26	17.48	2.12	4.58	445.50	97.19	47.31	4.47	146.03	68.94	21.22	2.56	913.20	245.93	85.82	17.48	1.96	0.409
L140×90×12			12		26.40	20.72	2.19	4.66	521.59	111.81	55.87	4.44	169.79	77.38	24.95	2.54	1096.09	296.89	100.21	20.54	1.95	0.406
L140×90×14			14		30.46	23.91	2.27	4.74	594.10	125.26	64.18	4.42	192.10	84.68	28.54	2.51	1279.26	348.82	114.13	23.52	1.94	0 403
L160×100×10	160	100	10	13	25.31	19.87	2.28	5.24	668.69	127.69	62.13	5.14	205.03	89.94	26.56	2.85	1362.89	336.59	121.74	21.92	2.19	0.390
L160×100×12			12		30.05	23.59	2.36	5.32	784.91	147.54	73.49	5.11	239.06	101.45	31.28	2.82	1635.56	405.94	142.33	25.79	2.18	0.388
L160×100×14			14		34.71	27.25	2.43	5.40	896.30	165.97	84.56	5.08	271.20	111.53	35.83	2.80	1908.50	476.42	162.23	29.56	2.16	0.385
L160×100×16			16		39.28	30.84	2.51	5.48	1003.05	183.11	95.33	5.05	301.60	120.37	40.24	2.77	2181.79	548.22	181.57	33.25	2.15	0.382
L180×110×10	180	110	10	14	28.37	22.27	2.44	5.89	956.25	162.37	78.96	5.81	278.11	113.91	32.49	3.13	1940.40	447.22	166.50	26.88	2.42	0.376
L180×110×12			12		33.71	26.46	2.52	5.98	1124.72	188.23	93.53	5.78	325.03	129.03	38.32	3.11	2328.38	538.94	194.87	31.66	2.40	0.374
L180×110×14			14		38.97	30.59	2.59	6.06	1286.91	212.46	107.76	5.75	369.55	142.41	43.97	3.08	2716.60	631.95	222.30	36.32	2.39	0.372
L180×110×16			16		44.14	34.65	2.67	6.14	1443.06	235.16	121.64	5.72	411.85	154.26	49.44	3.05	3105.15	726.46	248.94	40.87	2.37	0.369
L200×125×12	200	125	12	14	37.91	29.76	2.83	6.54	1570.90	240.10	116.73	6.44	483.16	170.46	49.99	3.57	3193.85	787.74	285.79	41.23	2.75	0.392
L200×125×14			14		43.87	34.44	2.91	6.62	1800.97	271.86	134.65	6.41	550.83	189.24	57.44	3.54	3726.17	922.47	326.58	47.34	2.73	0.390
L200×125×16			16		49.74	39.04	2.99	6.70	2023.35	301.81	152.18	6.38	615.44	206.12	64.69	3.52	4258.85	1058.86	366.21	53.32	2.71	0.388
L200×125×18			18		55.53	43.59	3.06	6.78	2238.30	330.05	169.33	6.35	677.19	221.30	71.74	3.49	4792.00	1197.13	404.83	59.18	2.70	0.385

注：不等边角钢的通常长度：L25×16～L56×36，为4～12m；L63×40～L90×56，为4～12m；L100×63～L140×90，为4～19m；L160×100～L200×125，为6～19m。

3）热轧普通工字钢的规格及截面特性（按 GB/T 706—1988 计算）



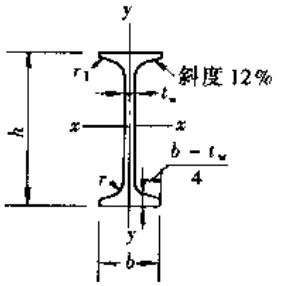
I—截面惯性矩；
W—截面模量；
S—半截面面积矩；
i—截面回转半径。

表 16-3

型号	尺寸 (mm)						截面面积 A (cm²)	每米重量 (kg/m)	截面性特						
									$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
	h	b	t_w	t	r	r_1			I_x (cm⁴)	W_x (cm³)	S_x (cm³)	i_x (cm)	I_y (cm⁴)	W_y (cm³)	t_y (cm)
I 10	100	68	4.5	7.6	6.5	3.3	14.33	11.25	245	49.0	28.2	4.14	32.8	9.6	1.51
I 12.6	126	74	5.0	8.4	7.0	3.5	18.10	14.21	488	77.4	44.2	5.19	46.9	12.7	1.61
I 14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.50	16.88	712	101.7	58.4	5.75	64.3	16.1	1.73
I 16	160	88	6.0	9.9	8.0	4.0	26.11	20.50	1127	140.9	80.8	6.57	93.1	21.1	1.89
I 18	180	94	6.5	10.7	8.5	4.3	30.74	24.13	1699	185.4	106.5	7.37	122.9	26.2	2.00
I 20a	200	100	7.0	11.4	9.0	4.5	35.55	27.91	2369	236.8	136.1	8.16	157.9	31.6	2.11
I 20b	200	102	9.0	11.4	9.0	4.5	39.55	31.05	2502	250.2	146.1	7.95	169.0	33.1	2.07
I 22a	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42.10	33.05	3406	309.6	177.7	8.99	225.9	41.1	2.32
I 22b	220	112	9.5	12.3	9.5	4.8	46.50	36.50	3583	325.8	189.8	8.78	240.2	42.9	2.27
I 25a	250	116	8.0	13.0	10.0	5.0	48.51	38.08	5017	401.4	230.7	10.17	280.4	48.4	2.40
I 25b	250	118	10.0	13.0	10.0	5.0	53.51	42.01	5278	422.2	246.3	9.93	297.3	50.4	2.36
I 28a	280	122	8.5	13.7	10.5	5.3	55.37	43.47	7115	508.2	292.7	11.34	344.1	56.4	2.49
I 28b	280	124	10.5	13.7	10.5	5.3	60.97	47.86	7481	534.4	312.3	11.08	363.8	58.7	2.44
I 32a	320	130	9.5	15.0	11.5	5.8	67.12	52.69	11080	692.5	400.5	12.85	459.0	70.6	2.62
I 32b	320	132	11.5	15.0	11.5	5.8	73.52	57.71	11626	726.7	426.1	12.58	483.8	73.3	2.57
I 32c	320	134	13.5	15.0	11.5	5.8	79.92	62.74	12173	760.8	451.7	12.34	510.1	76.1	2.53
I 36a	360	136	10.0	15.8	12.0	6.0	76.44	60.00	15796	877.6	508.8	12.38	554.9	81.6	2.69
I 36b	360	138	12.0	15.8	12.0	6.0	83.64	65.66	16574	920.8	541.2	14.08	583.6	84.6	2.64
I 36c	360	140	14.0	15.8	12.0	6.0	90.84	71.31	17351	964.0	573.6	13.82	614.0	87.7	2.60
I 40a	400	142	10.5	16.5	12.5	6.3	86.07	67.56	21714	1085.7	631.2	15.88	659.9	92.9	2.77
I 40b	400	144	12.5	16.5	12.5	6.3	94.07	73.84	22781	1139.0	671.2	15.56	692.8	96.2	2.71
I 40c	400	146	14.5	16.5	12.5	6.3	102.07	80.12	23847	1192.4	711.2	15.29	727.5	99.7	2.67
I 45a	450	150	11.5	18.0	13.5	6.8	102.40	80.38	32241	1432.9	836.4	17.74	855.0	114.0	2.89
I 45b	450	152	13.5	18.0	13.5	6.8	111.40	87.45	33759	1500.4	887.1	17.41	895.4	117.8	2.84
I 45c	450	154	15.5	18.0	13.5	6.8	120.40	94.51	35278	1567.9	937.7	17.12	938.0	121.8	2.79
I 50a	500	158	12.0	20.0	14.0	7.0	119.25	93.61	46472	1858.9	1084.1	19.74	1121.5	142.0	3.07
I 50b	500	160	14.0	20.0	14.0	7.0	129.25	101.46	48556	1942.2	1146.6	19.38	1171.4	146.4	3.01
I 50c	500	162	16.0	20.0	14.0	7.0	139.25	109.31	50639	2025.6	1209.1	19.07	1223.9	151.1	2.96
I 56a	560	166	12.5	21.0	14.5	7.3	135.38	106.27	65576	2342.0	1368.8	22.01	1365.8	164.6	3.18
I 56b	560	168	14.5	21.0	14.5	7.3	146.58	115.06	68503	2446.5	1447.2	21.62	1423.8	169.5	3.12
I 56c	560	170	16.5	21.0	14.5	7.3	157.78	123.85	71430	2551.1	1525.6	21.28	1484.8	174.7	3.07
I 63a	630	176	13.0	22.0	15.0	7.5	154.59	121.36	94004	2984.3	1747.4	24.66	1702.4	193.5	3.32
I 63b	630	178	15.0	22.0	15.0	7.5	167.19	131.35	98171	3116.6	1846.6	24.23	1770.7	199.0	3.25
I 63c	630	180	17.0	22.0	15.0	7.5	179.79	141.14	102339	3248.9	1945.9	23.86	1842.4	204.7	3.20

注：普通工字钢的通常长度：I 10～I 18，为 5～19m；I 20～I 63，为 6～19m。

4）热轧轻型工字钢的规格及截面特性（按 YB 163—1963 计算）



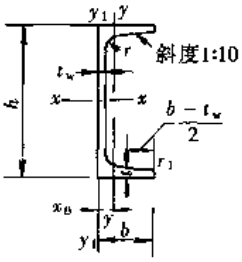
I—截面惯性矩；
W—截面模量；
S—半截面面积矩；
i—截面回转半径。

表 16-4

型号	尺寸 (mm)						截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性						
									$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
	h	b	t_w	t	r	r_1			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	S_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
I 10	100	55	4.5	7.2	7.0	2.5	12.05	9.46	198	39.7	23.0	4.06	17.9	6.5	1.22
I 12	120	64	4.8	7.3	7.5	3.0	14.71	11.55	351	58.4	33.7	4.88	27.9	8.7	1.38
I 14	140	73	4.9	7.5	8.0	3.0	17.43	13.68	572	81.7	46.8	5.73	41.9	11.5	1.55
I 16	160	81	5.0	7.8	8.5	3.5	20.24	15.89	873	109.2	62.3	6.57	58.6	14.5	1.70
I 18	180	90	5.1	8.1	9.0	3.5	23.38	18.35	1288	143.1	81.4	7.42	82.6	18.4	1.88
I 18a	180	100	5.1	8.3	9.0	3.5	25.38	19.92	1431	159.0	89.8	7.51	114.2	22.8	2.12
I 20	200	100	5.2	8.4	9.5	4.0	26.81	21.04	1840	184.0	104.2	8.28	115.4	23.1	2.08
I 20a	200	110	5.2	8.6	9.5	4.0	28.91	22.69	2027	202.7	114.1	8.37	154.9	28.2	2.32
I 22	220	110	5.4	8.7	10.0	4.0	30.62	24.04	2554	232.1	131.2	9.13	157.4	28.6	2.27
I 22a	220	120	5.4	8.9	10.0	4.0	32.82	25.76	2792	253.8	142.7	9.22	205.9	34.3	2.50
I 24	240	115	5.6	9.5	10.5	4.0	34.83	27.35	3465	288.7	163.1	9.97	198.5	34.5	2.39
I 24a	240	125	5.6	9.8	10.5	4.0	37.45	29.40	3801	316.7	177.9	10.07	260.0	41.6	2.63
I 27	270	125	6.0	9.8	11.0	4.5	40.17	31.54	5011	371.2	210.0	11.17	259.6	41.5	2.54
I 27a	270	135	6.0	10.2	11.0	4.5	43.17	33.89	5500	407.4	229.1	11.29	337.5	50.0	2.80
I 30	300	135	6.5	10.2	12.0	5.0	46.48	36.49	7084	472.3	267.8	12.35	337.0	49.9	2.69
I 30a	300	145	6.5	10.7	12.0	5.0	49.91	39.18	7776	518.4	292.1	12.48	435.8	60.1	2.95
I 33	330	140	7.0	11.2	13.0	5.0	53.82	42.25	9845	596.6	339.2	13.52	419.4	59.9	2.79
I 36	360	145	7.5	12.3	14.0	6.0	61.86	48.56	13377	743.2	423.3	14.71	515.8	71.2	2.89
I 40	400	155	8.0	13.0	15.0	6.0	71.44	56.08	18932	946.6	540.1	16.28	666.3	86.0	3.05
I 45	450	160	8.6	14.2	16.0	7.0	83.03	65.18	27446	1219.8	699.0	18.18	806.9	100.9	3.12
I 50	500	170	9.5	15.2	17.0	7.0	97.84	76.81	39295	1571.8	905.0	20.04	1041.8	122.6	3.26
I 55	550	180	10.3	16.5	18.0	7.0	114.43	89.83	55155	2005.6	1157.7	21.95	1353.0	150.3	3.44
I 60	600	190	11.1	17.8	20.0	8.0	132.46	103.98	75456	2515.2	1455.0	23.07	1720.1	181.1	3.60
I 65	650	200	12.0	19.2	22.0	9.0	152.80	119.94	101412	3120.4	1809.4	25.76	2170.1	217.0	3.77
I 70	700	210	13.0	20.8	24.0	10.0	176.03	138.18	134609	3846.0	2235.1	27.65	2733.3	260.3	3.94
I 70a	700	210	15.0	24.0	24.0	10.0	201.67	158.31	152706	4363.0	2547.5	27.52	3243.5	308.9	4.01
I 70b	700	210	17.5	28.2	24.0	10.0	234.14	183.80	175374	5010.7	2941.6	27.37	3914.7	372.8	4.09

注：轻型工字钢的通常长度：I 10～I 18，为 5～19m；I 20～I 70，为 6～19m。

5）热轧普通槽钢的规格及截面特性（按 GB/T 707—1988 计算）



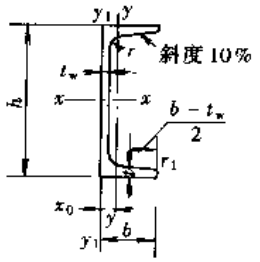
I—截面惯性矩；
W—截面模量；
S—半截面面积矩；
i—截面回转半径。

表 16-5

型号	尺寸 (mm)						截面面积 A (cm²)	每米重量 (kg/m)	截面特性									
									x_0 (cm)	$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				y_1-y_1 轴
	h	b	t_w	t	r	r_1				I_x (cm⁴)	W_x (cm³)	S_x (cm³)	i_x (cm)	I_y (cm⁴)	$W_{y_{max}}$ (cm³)	$W_{y_{min}}$ (cm³)	i_y (cm)	I_{y_1} (cm⁴)
[5	50	37	4.5	7.0	7.0	3.50	6.92	5.44	1.35	26.0	10.4	6.4	1.94	8.3	6.2	3.5	1.10	20.9
[6.3	63	40	4.8	7.5	7.5	3.80	8.45	6.63	1.39	51.2	16.3	9.8	2.46	11.9	8.5	4.6	1.19	28.3
[8	80	43	5.0	8.0	8.0	4.00	10.24	8.04	1.42	101.3	25.3	15.1	3.14	16.6	11.7	5.8	1.27	37.4
[10	100	48	5.3	8.5	8.5	4.20	12.74	10.00	1.52	198.3	39.7	23.5	3.94	25.6	16.9	7.8	1.42	54.9
[12.6	126	53	5.5	9.0	9.0	4.50	15.69	12.31	1.59	388.5	61.7	36.4	4.98	38.0	23.9	10.3	1.56	77.8
[14a	140	58	6.0	9.5	9.5	4.80	18.51	14.53	1.71	563.7	80.5	47.5	5.52	53.2	31.2	13.0	1.70	107.2
[14b	140	60	8.0	9.5	9.5	4.80	21.31	16.73	1.67	609.4	87.1	52.4	5.35	61.2	36.6	14.1	1.69	120.6
[16a	160	63	6.5	10.0	10.0	5.00	21.95	17.23	1.79	866.2	108.3	63.9	6.28	73.4	40.9	16.3	1.83	144.1
[16b	160	65	8.5	10.0	10.0	5.00	25.15	19.75	1.75	934.5	116.8	70.3	6.10	83.4	47.6	17.6	1.82	160.8
[18a	180	68	7.0	10.5	10.5	5.20	25.69	20.17	1.88	1272.7	141.4	83.5	7.04	98.6	52.3	20.0	1.96	189.7
[18b	180	70	9.0	10.5	10.5	5.20	29.29	22.99	1.84	1369.9	152.2	91.6	6.84	111.0	60.4	21.5	1.95	210.1
[20a	200	73	7.0	11.0	11.0	5.50	28.83	22.63	2.01	1780.4	178.0	104.7	7.86	128.0	63.8	24.2	2.11	244.0
[20b	200	75	9.0	11.0	11.0	5.50	32.83	25.77	1.95	1913.7	191.4	114.7	7.64	143.6	73.7	25.9	2.09	268.4
[22a	220	77	7.0	11.5	11.5	5.80	31.84	24.99	2.10	2393.9	217.6	127.6	8.67	157.8	75.1	28.2	2.23	298.2
[22b	220	79	9.0	11.5	11.5	5.80	36.24	28.45	2.03	2571.3	233.8	139.7	8.42	176.5	86.8	30.1	2.21	326.3
[25a	250	78	7.0	12.0	12.0	6.00	34.91	27.40	2.07	3359.1	268.7	157.8	9.81	175.9	85.1	30.7	2.24	324.8
[25b	250	80	9.0	12.0	12.0	6.00	39.91	31.33	1.99	3619.5	289.6	173.5	9.52	196.4	98.5	32.7	2.22	355.1
[25c	250	82	11.0	12.0	12.0	6.00	44.91	35.25	1.96	3880.0	310.4	189.1	9.30	215.9	110.1	34.6	2.19	388.6
[28a	280	82	7.5	12.5	12.5	6.20	40.02	31.42	2.09	4752.5	339.5	200.2	10.90	217.9	104.1	35.7	2.33	393.3
[28b	280	84	9.5	12.5	12.5	6.20	45.62	35.81	2.02	5118.4	365.6	219.8	10.59	241.5	119.3	37.9	2.30	428.5
[28c	280	86	11.5	12.5	12.5	6.20	51.22	40.21	1.99	5484.3	391.7	239.4	10.35	264.1	132.6	40.0	2.27	467.3
[32a	320	88	8.0	14.0	14.0	7.00	48.50	38.07	2.24	7510.6	469.4	276.9	12.44	304.7	136.2	46.4	2.51	547.5
[32b	320	90	10.0	14.0	14.0	7.00	54.90	43.10	2.16	8056.8	503.5	302.5	12.11	335.6	155.0	49.1	2.47	592.9
[32c	320	92	12.0	14.0	14.0	7.00	61.30	48.12	2.13	8602.9	537.7	328.1	11.85	365.0	171.5	51.6	2.44	642.7
[36a	360	96	9.0	16.0	16.0	8.00	60.89	47.80	2.44	11874.1	659.7	389.9	13.96	455.0	186.2	63.6	2.73	818.5
[36b	360	98	11.0	16.0	16.0	8.00	68.09	53.45	2.37	12651.7	702.9	422.3	13.63	496.7	209.2	66.9	2.70	880.5
[36c	360	100	13.0	16.0	16.0	8.00	75.29	59.10	2.34	13429.3	746.1	454.7	13.36	536.6	229.5	70.0	2.67	948.0
[40a	400	100	10.5	18.0	18.0	9.00	75.04	58.91	2.49	17577.7	878.9	524.4	15.30	592.0	237.6	78.8	2.81	1057.9
[40b	400	102	12.5	18.0	18.0	9.00	83.04	65.19	2.44	18644.4	932.2	564.4	14.98	640.6	262.4	82.6	2.78	1135.8
[40c	400	104	14.5	18.0	18.0	9.00	91.04	71.47	2.42	19711.0	985.6	604.4	14.71	687.8	284.4	86.2	2.75	1220.3

注：普通槽钢的通常长度：[5～[8，为5～12m；[10～[18，为5～19m；[20～[40，为6～19m。

6）热轧轻型槽钢的规格及截面特性（按 YB 164—1963 计算）



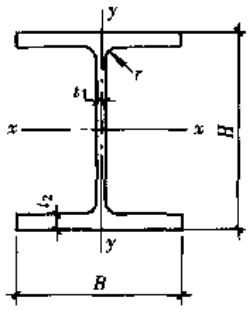
I—截面惯性矩；
W—截面模量；
S—半截面面积矩；
i—截面回转半径。

表 16-6

型号	尺寸 (mm)						截面面积 A (cm²)	每米重量 (kg/m)	截面特性									
									x_0 (cm)	$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				y_1-y_1 轴
	h	b	t_w	t	r	r_1				I_x (cm⁴)	W_x (cm³)	S_x (cm³)	i_x (cm)	I_y (cm⁴)	$W_{y_{max}}$ (cm³)	$W_{y_{min}}$ (cm³)	i_y (cm)	I_{y_1} (cm⁴)
[5	50	32	4.4	7.0	6.0	2.5	6.16	4.84	1.16	22.8	9.1	5.6	1.92	5.6	4.8	2.8	0.95	13.9
[6.5	65	36	4.4	7.2	6.0	2.5	7.51	5.70	1.24	48.6	15.0	9.0	2.54	8.7	7.0	3.7	1.08	20.2
[8	80	40	4.5	7.4	6.5	2.5	8.98	7.05	1.31	89.4	22.4	13.3	3.16	12.8	9.8	4.8	1.19	28.2
[10	100	46	4.5	7.6	7.0	3.0	10.94	8.59	1.44	173.9	34.8	20.4	3.99	20.4	14.2	6.5	1.37	43.0
[12	120	52	4.8	7.8	7.5	3.0	13.28	10.43	1.54	303.9	50.6	29.6	4.78	31.2	20.2	8.5	1.53	62.8
[14	140	58	4.9	8.1	8.0	3.0	15.65	12.28	1.67	491.1	70.2	40.8	5.60	45.4	27.1	11.0	1.70	89.2
[14a	140	62	4.9	8.7	8.0	3.0	16.98	13.33	1.87	544.8	77.8	45.1	5.66	57.5	30.7	13.3	1.84	116.9
[16	160	64	5.0	8.4	8.5	3.5	18.12	14.22	1.80	747.0	93.4	54.1	6.42	63.3	35.1	13.8	1.87	122.2
[16a	160	68	5.0	9.0	8.5	3.5	19.54	15.34	2.00	823.3	102.9	59.4	6.49	78.8	39.4	16.4	2.01	157.1
[18	180	70	5.1	8.7	9.0	3.5	20.71	16.25	1.94	1086.3	120.7	69.8	7.24	86.0	44.4	17.0	2.04	163.6
[18a	180	74	5.1	9.3	9.0	3.5	22.23	17.45	2.14	1190.7	132.3	76.1	7.32	105.4	49.4	20.0	2.18	206.7
[20	200	76	5.2	9.0	9.5	4.0	23.40	18.37	2.07	1522.0	152.2	87.8	8.07	113.4	54.9	20.5	2.20	213.3
[20a	200	80	5.2	9.7	9.5	4.0	25.16	19.75	2.28	1672.4	167.2	95.9	8.15	138.6	60.8	24.2	2.35	269.3
[22	220	82	5.4	9.5	10.0	4.0	26.72	20.97	2.21	2109.5	191.8	110.4	8.89	150.6	68.0	25.1	2.37	281.4
[22a	220	87	5.4	10.2	10.0	4.0	28.81	22.62	2.46	2327.3	211.6	121.1	8.99	187.1	76.1	30.0	2.55	361.3
[24	240	90	5.6	10.0	10.5	4.0	30.64	24.05	2.42	2901.1	241.8	138 8	9.73	207.6	85.7	31.6	2.60	387.4
[24a	240	95	5.6	10.7	10.5	4.0	32.89	25.82	2.67	3181.2	265.1	151.3	9.83	253.6	95.0	37.2	2.78	488.5
[27	270	95	6.0	10.5	11.0	4.5	35.23	27.66	2.47	4163.3	308.4	177.6	10.87	261.8	105.8	37.3	2.73	477.5
[30	300	100	6.5	11.0	12.0	5.0	40.47	31.77	2.52	5808.3	387.2	224.0	11.98	326.6	129.8	43.6	2.84	582.9
[33	330	105	7.0	11.7	13.0	5.0	46.52	36.52	2.59	7984.1	483.9	280.9	13.10	410.1	158.3	51.8	2.97	722.2
[36	360	110	7.5	12.6	14.0	6.0	53.37	41.90	2.68	10815.5	600.9	349.6	14.24	513.5	191.3	61.8	3.10	898.2
[40	400	115	8.0	13.5	15.0	6.0	61.53	48.30	2.75	15219.6	761.0	444.3	15.73	642.3	233.1	73.4	3.23	1109.2

注：轻型槽钢的通常长度，[5～[8，为 5～12m；[10～[18，为 5～19m；[20～[40，为 6～19m。

7）热轧H型钢及部分T型钢的规格及截面特性（按GB/T 11263—1998）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

H　型　钢　　表16-7*a*

类别	型号（高度×宽度）	尺寸（mm）				截面面积（cm²）	重量（kg/m）	$x-x$轴			$y-y$轴		
		$H\times B$	t_1	t_2	r			I_x（cm⁴）	W_x（cm³）	i_x（cm）	I_y（cm⁴）	W_y（cm³）	i_y（cm）
HW	100×100	100×100	6	8	10	21.90	17.2	383	76.5	4.18	134	26.7	2.47
	125×125	125×125	6.5	9	10	30.31	23.8	847	126	5.29	294	47.0	3.11
	150×150	150×150	7	10	13	40.55	31.9	1660	221	6.39	564	75.1	3.73
	175×175	175×175	7.5	11	13	51.43	40.3	2900	331	7.50	984	112	4.37
	200×200	200×200	8	12	16	64.28	50.5	4770	477	8.61	1600	160	4.99
		*200×204	12	12	16	72.28	56.7	5030	503	8.35	1700	167	4.85
	250×250	250×250	9	14	16	92.18	72.4	10800	867	10.8	3650	292	6.29
		*250×255	14	14	16	104.7	82.2	11500	919	10.5	3880	304	6.09
	300×300	*294×302	12	12	20	108.3	85.0	17000	1160	12.5	5520	365	7.14
		300×300	10	15	20	120.4	94.5	20500	1370	13.1	6760	450	7.49
		300×305	15	15	20	135.4	106	21600	1440	12.6	7100	466	7.24
	350×350	*344×348	10	16	20	146.0	115	33300	1940	15.1	11200	646	8.78
		350×350	12	19	20	173.9	137	40300	2300	15.2	13600	776	8.84
	400×400	*388×402	15	15	24	179.2	141	49200	2540	16.6	16300	809	9.52
		*394×398	11	18	24	187.6	147	56400	2860	17.3	18900	951	10.0
		400×400	13	21	24	219.5	172	66900	3340	17.5	22400	1120	10.1
		*400×408	21	21	24	251.5	197	71100	3560	16.8	23800	1170	9.73
		*414×405	18	28	24	296.2	233	93000	4490	17.7	31000	1530	10.2
		*428×407	20	35	24	361.4	284	119000	5580	18.2	39400	1930	10.4
		*458×417	30	50	24	529.3	415	187000	8180	18.8	60500	2900	10.7
		*498×432	45	70	24	770.8	605	298000	12000	19.7	94400	4370	11.1
HM	150×100	148×100	6	9	13	27.25	21.4	1040	140	6.17	151	30.2	2.35
	200×150	194×150	6	9	16	39.76	31.2	2740	283	8.30	508	67.7	3.57
	250×175	244×175	7	11	16	56.24	44.1	6120	502	10.4	985	113	4.18
	300×200	294×200	8	12	20	73.03	57.3	11400	779	12.5	1600	160	4.69
	350×250	340×250	9	14	20	101.5	79.7	21700	1280	14.6	3650	292	6.00

续表

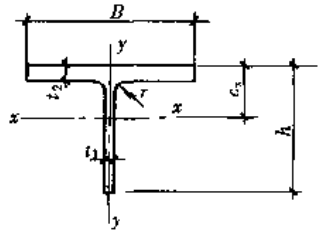
类别	型号（高度×宽度）	尺寸 (mm) $H \times B$	t_1	t_2	r	截面面积 (cm^2)	重量 (kg/m)	$x-x$ 轴 I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	$y-y$ 轴 I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
HM	400×300	390×300	10	16	24	136.7	107	38900	2000	16.9	7210	481	7.26
	450×300	440×300	11	18	24	157.4	124	56100	2550	18.9	8110	541	7.18
	500×300	482×300	11	15	28	146.4	115	60800	2520	20.4	6770	451	6.80
		488×300	11	18	28	164.4	129	71400	2930	20.8	8120	541	7.03
	600×300	582×300	12	17	28	174.5	137	103000	3530	24.3	7670	511	6.63
		588×300	12	20	28	192.5	151	118000	4020	24.8	9020	601	6.85
		#594×302	14	23	28	222.4	175	137000	4620	24.9	10600	701	6.90
HN	100×50	100×50	5	7	10	12.16	9.54	192	38.5	3.98	14.9	5.96	1.11
	125×60	125×60	6	8	10	17.01	13.3	417	66.8	4.95	29.3	9.75	1.31
	150×75	150×75	5	7	10	18.16	14.3	679	90.6	6.12	49.6	13.2	1.65
	160×90	160×90	5	8	10	22.46	17.6	999	125	6.67	97.6	21.7	2.08
	175×90	175×90	5	8	10	23.21	18.2	1220	140	7.26	97.6	21.7	2.05
	200×100	198×99	4.5	7	13	23.59	18.5	1610	163	8.27	114	23.0	2.20
		200×100	5.5	8	13	27.57	21.7	1880	188	8.25	134	26.8	2.21
	250×125	248×124	5	8	13	32.89	25.8	3560	287	10.4	255	41.1	2.78
		250×125	6	9	13	37.87	29.7	4080	326	10.4	294	47.0	2.79
	280×125	280×125	6	9	13	39.67	31.1	5270	376	11.5	294	47.0	2.72
	300×150	298×149	5.5	8	16	41.55	32.6	6460	433	12.4	443	59.4	3.26
		300×150	6.5	9	16	47.53	37.3	7350	490	12.4	508	67.7	3.27
	350×175	346×174	6	9	16	53.19	41.8	11200	649	14.5	792	91.0	3.86
		350×175	7	11	16	63.66	50.0	13700	782	14.7	985	113	3.93
	#400×150	#400×150	8	13	16	71.12	55.8	18800	942	16.3	734	97.9	3.21
	400×200	396×199	7	11	16	72.16	56.7	20000	1010	16.7	1450	145	4.48
		400×200	8	13	16	84.12	66.0	23700	1190	16.8	1740	174	4.54
	#450×150	#450×150	9	14	20	83.41	65.5	27100	1200	18.0	793	106	3.08
	450×200	446×199	8	12	20	84.95	66.72	29000	1300	18.5	1580	159	4.31
		450×200	9	14	20	97.41	76.5	33700	1500	18.6	1870	187	4.38
	#500×150	#500×150	10	16	20	98.23	77.1	38500	1540	19.8	907	121	3.04
	500×200	496×199	9	14	20	101.3	79.5	41900	1690	20.3	1840	185	4.27
		500×200	10	16	20	114.2	89.6	47800	1910	20.5	2140	214	4.33
		#506×201	11	19	20	131.3	103	56500	2230	20.8	2580	257	4.43
	600×200	596×199	10	15	24	121.2	95.1	69300	2330	23.9	1980	199	4.04
		600×200	11	17	24	135.2	106	78200	2610	24.1	2280	228	4.11
		#606×201	12	20	24	153.3	120	91000	3000	24.4	2720	271	4.21
	700×300	*692×300	13	20	28	211.5	166	172000	4980	28.6	9020	602	6.53
		700×300	13	24	28	235.5	185	201000	5760	29.3	10800	722	6.78
	*800×300	*792×300	14	22	28	243.4	191	254000	6400	32.3	9930	662	6.39
		*800×300	14	26	28	267.4	210	292000	7290	33.0	11700	782	6.62
	*900×300	*890×299	15	23	28	270.9	213	345000	7760	35.7	10300	688	6.16
		*900×300	16	28	28	309.8	243	411000	9140	36.4	12600	843	6.39
		*912×302	18	34	28	364.0	286	498000	10900	37.0	15700	1040	6.56

注：1. “#”表示为非常用规格。

2. “*”表示的规格，目前国内尚未生产。

3. 型号属同一范围的产品，其内侧尺寸高度相同。

4. 截面面积计算公式为：$t_1(H-2t_2)+2Bt_2+0.858r^2$。



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

部 分 T 型 钢　　表 16-7*b*

类别	型号（高度×宽度）	尺寸 (mm) h	B	t_1	t_2	r	截面面积 (cm^2)	重量 (kg/m)	$x-x$ 轴 I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	$y-y$ 轴 I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	C_x (cm)	对应H型钢系列型号
TW	500×100	50	100	6	8	10	10.95	8.56	16.1	4.03	1.21	66.9	13.4	2.47	1.00	100×100
	62.5×125	62.5	125	6.5	9	10	15.16	11.9	35.0	6.91	1.52	147	23.5	3.11	1.19	125×125
	75×150	75	150	7	10	13	20.28	15.9	66.4	10.8	1.81	282	37.6	3.73	1.37	150×150
	87.5×175	87.5	175	7.5	11	13	25.71	20.2	115	15.9	2.11	492	56.2	4.37	1.55	175×175
	100×200	100	200	8	12	16	32.14	25.2	185	22.3	2.40	801	80.1	4.99	1.73	200×200
		*100	204	12	12	16	36.14	28.3	256	32.4	2.66	851	83.5	4.85	2.09	
	125×250	125	250	9	14	16	46.09	36.2	412	39.5	2.99	1820	146	6.29	2.08	250×250
		*125	255	14	14	16	52.34	41.1	589	59.4	3.36	1940	152	6.09	2.58	
	150×300	*147	302	12	12	20	54.16	42.5	858	72.3	3.98	2760	183	7.14	2.83	300×300
		150	300	10	15	20	60.22	47.3	798	63.7	3.64	3380	225	7.49	2.47	
		150	305	15	15	20	67.72	53.1	1110	92.5	4.05	3550	233	7.24	3.02	
	175×350	*172	348	10	16	20	73.00	57.3	1230	84.7	4.11	5620	323	8.78	2.67	350×350
		175	350	12	19	20	86.94	68.2	1520	104	4.18	6790	388	8.84	2.86	
	200×400	*194	402	15	15	24	89.62	70.3	2480	158	5.26	8130	405	9.52	3.69	400×400
		*197	398	11	18	24	93.80	73.6	2050	123	4.67	9460	476	10.0	3.01	
		200	400	13	21	24	109.7	86.1	2480	147	4.75	11200	560	10.1	3.21	
		*200	408	21	21	24	125.7	98.7	3650	229	5.39	11900	584	9.73	4.07	
		*207	405	18	28	24	148.1	116	3620	213	4.95	15500	766	10.2	3.68	
		*214	407	20	35	24	180.7	142	4380	250	4.92	19700	967	10.4	3.90	
TM	74×100	74	100	6	9	13	13.63	10.7	51.7	8.80	1.95	75.4	15.1	2.35	1.55	150×150
	97×150	97	150	6	9	16	19.88	15.6	125	15.8	2.50	254	33.9	3.57	1.78	200×150
	122×175	122	175	7	11	16	28.12	22.1	289	29.1	3.20	492	56.3	4.18	2.27	250×175
	147×200	147	200	8	12	20	36.52	28.7	572	48.2	3.96	802	80.2	4.69	2.82	300×200
	170×250	170	250	9	14	20	50.76	39.9	1020	73.1	4.48	1830	146	6.00	3.09	350×250
	200×300	195	300	10	16	24	68.37	53.7	1730	108	5.03	3600	240	7.26	3.40	400×300
	220×300	220	300	11	18	24	78.69	61.8	2680	150	5.84	4060	270	7.18	4.05	450×300

续表

类别	型号（高度×宽度）	尺寸 (mm) h	B	t_1	t_2	r	截面面积 (cm^2)	重量 (kg/m)	$x-x$ 轴 I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	$y-y$ 轴 I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	C_x (cm)	对应H型钢系列型号
TM	250×300	241	300	11	15	28	73.23	57.5	3420	178	6.83	3380	226	6.80	4.90	500×300
		244	300	11	18	28	82.23	64.5	3620	184	6.64	4060	271	7.03	4.65	
	300×300	291	300	12	17	28	87.25	68.5	6360	280	8.54	3830	256	6.63	6.39	600×300
		294	300	12	20	28	96.25	75.5	6710	288	8.35	4510	301	6.85	6.08	
TN	50×50	50	50	5	7	10	6.079	4.79	11.9	3.18	1.40	7.45	2.98	1.11	1.27	100×50
	62.5×60	62.5	60	6	8	10	8.499	6.67	27.5	5.96	1.80	14.6	4.88	1.31	1.63	125×60
	75×75	75	75	5	7	10	9.079	7.14	42.7	7.46	2.17	24.8	6.61	1.65	1.78	150×75
	87.5×90	87.5	90	5	8	10	11.60	9.11	70.7	10.4	2.47	48.8	10.8	2.05	1.92	175×90
	100×100	99	99	4.5	7	13	11.80	9.26	94.0	12.1	2.82	56.9	11.5	2.20	2.13	200×100
		100	100	5.5	8	13	13.79	10.8	115	14.8	2.88	67.1	13.4	2.21	2.27	
	125×125	124	124	5	8	13	16.45	12.9	208	21.3	3.56	128	20.6	2.78	2.62	250×125
		125	125	6	9	13	18.94	14.8	249	25.6	3.62	147	23.5	2.79	2.78	
	150×150	149	149	5.5	8	16	20.77	16.3	395	33.8	4.36	221	29.7	3.26	3.22	300×150
		150	150	6.5	9	16	23.76	18.7	465	40.0	4.42	254	33.9	3.27	3.38	
	175×175	173	174	6	9	16	26.60	20.9	681	50.0	5.06	396	45.5	3.86	3.68	350×175
		175	175	7	11	16	31.83	25.0	816	59.3	5.06	492	56.3	3.93	3.74	
	200×200	198	199	7	11	16	36.08	28.3	1190	76.4	5.76	724	72.7	4.48	4.17	400×200
		200	200	8	13	16	42.06	33.0	1400	88.6	5.76	868	86.8	4.54	4.23	
	225×200	223	199	8	12	20	42.54	33.4	1880	109	6.65	790	79.4	4.31	5.07	450×200
		225	200	9	14	20	48.71	38.2	2160	124	6.66	936	93.6	4.38	5.13	
	250×200	248	199	9	14	20	50.64	39.7	2840	150	7.49	922	92.7	4.27	5.90	500×200
		250	200	10	16	20	57.12	44.8	3210	169	7.50	1070	107	4.33	5.96	
		#253	201	11	19	20	65.65	51.5	3670	190	7.48	1290	128	4.43	5.95	
	300×200	298	199	10	15	24	60.62	47.6	5200	236	9.27	991	100	4.04	7.76	600×200
		300	200	11	17	24	67.60	53.1	5820	262	9.28	1140	114	4.11	7.81	
		#300	201	12	20	24	76.63	60.1	6580	292	9.26	1360	135	4.21	7.76	

注：1. "#" 表示为非常用规格。

2. 本表由马鞍山钢铁股份有限公司和鞍山第一轧钢厂提供。

8）结构用普通高频焊接薄壁H型钢的型号及截面特性（按JG/T 137—2001）

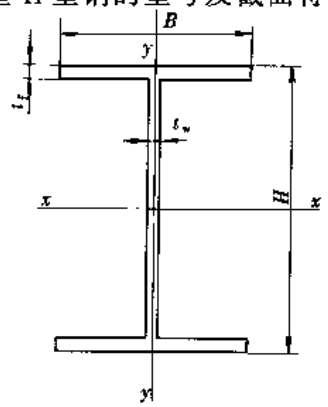


表 16-8

序　号	截面尺寸（mm）				A (cm^2)	理论重量 (kg/m)	$x-x$			$y-y$		
	H	B	t_w	t_f			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1	100	50	2.3	3.2	5.35	4.20	90.71	18.14	4.12	6.68	2.67	1.12
2			3.2	4.5	7.41	5.82	122.77	24.55	4.07	9.40	3.76	1.13
3		100	4.5	6.0	15.96	12.53	291.00	58.20	4.27	100.07	20.01	2.50
4			6.0	8.0	21.04	16.52	369.05	73.81	4.19	133.48	26.70	2.52
* *5	120	120	3.2	4.5	14.35	11.27	396.84	66.14	5.26	129.63	21.61	3.01
6			4.5	6.0	19.26	15.12	515.53	85.92	5.17	172.88	28.81	3.00
7	150	75	3.2	4.5	11.26	8.84	432.11	57.62	6.19	31.68	8.45	1.68
8			4.5	6.0	15.21	11.94	565.38	75.38	6.10	42.29	11.28	1.67
9		100	3.2	4.5	13.15	10.61	551.24	73.50	6.39	75.04	15.01	2.36
10			4.5	6.0	18.21	14.29	720.99	96.13	6.29	100.10	20.02	2.34
11		150	4.5	6.0	24.21	19.00	1032.21	137.63	6.53	337.60	45.01	3.73
12			6.0	8.0	32.04	25.15	1331.43	177.52	6.45	450.24	60.03	3.75
* 13	200	100	3.0	3.0	11.82	9.28	764.71	76.47	8.04	50.04	10.01	2.06
14			3.2	4.5	15.11	11.86	1045.92	104.59	8.32	75.05	15.01	2.23
15			4.5	6.0	20.46	16.06	1378.62	137.86	8.21	100.14	20.03	2.21
16			6.0	8.0	27.04	21.23	1786.89	178.69	8.13	133.66	26.73	2.22
* 17		150	3.2	4.5	19.61	15.40	1475.97	147.60	8.68	253.18	33.76	3.59
18			4.5	6.0	26.46	20.77	1943.34	194.33	8.57	337.64	45.02	3.57
19			6.0	8.0	35.04	27.51	2524.60	252.46	8.49	450.33	60.04	3.58
20		200	6.0	8.0	43.04	33.79	3262.30	326.23	8.71	1067.00	106.70	4.98
* 21	250	125	3.0	3.0	14.82	11.63	1507.14	120.57	10.08	97.71	15.63	2.57
* *22			3.2	4.5	18.96	14.89	2068.56	165.48	10.44	146.55	23.45	2.78
23			4.5	6.0	25.71	20.18	2738.60	219.09	10.32	195.49	31.28	2.76
24			4.5	8.0	30.53	23.97	3409.75	272.78	10.57	260.59	41.70	2.92
25			6.0	8.0	34.04	26.72	3569.91	285.59	10.24	260.84	41.73	2.77
* 26		150	3.2	4.5	21.21	16.65	2407.62	192.61	10.65	253.19	33.76	3.45
27			4.5	6.0	28.71	22.54	3185.21	254.82	10.53	337.68	45.02	3.43
28			4.5	8.0	34.53	27.11	3995.60	319.65	10.76	450.18	60.02	3.61
29			6.0	8.0	38.04	29.86	4155.77	332.46	10.45	450.42	60.06	3.44
30		200	6.0	8.0	46.04	36.14	5327.47	426.20	10.76	1067.09	106.71	4.81

续表

序号	截面尺寸（mm）				A (cm^2)	理论重量 (kg/m)	$x-x$			$y-y$		
	H	B	t_w	t_f			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
*31	300	150	3.2	4.5	22.81	17.91	3604.41	240.29	12.57	253.20	33.76	3.33
32			4.5	6.0	30.96	24.30	4785.96	319.06	12.43	337.72	45.03	3.30
33			4.5	8.0	36.78	28.87	5976.11	398.41	12.75	450.22	60.03	3.50
34			6.0	8.0	41.04	32.22	6262.44	417.50	12.35	450.51	60.07	3.31
35		200	6.0	8.0	49.04	38.50	7968.14	531.21	12.75	1067.18	106.72	4.66
*36	350	150	3.2	4.5	24.41	19.16	5086.36	290.65	14.43	253.22	33.76	3.22
37			4.5	6.0	33.21	26.07	6773.70	387.07	14.28	337.76	45.03	3.19
38			6.0	8.0	44.04	34.57	8882.11	507.55	14.20	450.60	60.08	3.20
39		175	4.5	6.0	36.21	28.42	7661.31	437.79	14.55	536.19	61.28	3.85
40			4.5	8.0	43.03	33.78	9586.21	547.78	14.93	714.84	81.70	4.08
41			6.0	8.0	48.04	37.71	10051.96	574.40	14.47	715.18	81.74	3.86
42		200	6.0	8.0	52.04	40.85	11221.81	641.25	14.68	1067.27	106.73	4.53
43	400	150	4.5	8.0	41.28	32.40	11344.49	567.22	16.58	450.29	60.04	3.30
44		*200	6.0	8.0	55.04	43.21	15125.98	756.30	16.58	1067.36	106.74	4.40
45			4.5	9.0	53.19	41.75	15852.08	792.60	17.26	1200.29	120.03	4.75

注 1. 带“*”的规格翼缘宽度不符合 GB 50017—2003 或 CECS 102：2002 的要求，应根据 GB 50017—2003 或 CECS 102：2002，按翼缘有效宽度计算。

2. 当钢材采用 Q345 或更高级别的钢种时，带“**”的规格翼缘宽度不符合 GB 50017—2003 或 CECS 102：2002 的要求，应根据 GB 50017—2003 或 CECS 102：2002，按翼缘有效宽度计算。

9）结构用卷边高频焊接薄壁 H 型钢的型号及截面特性（按 JG/T 137—2001）

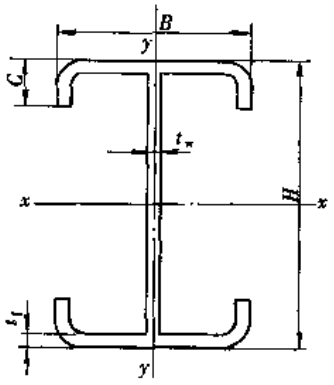
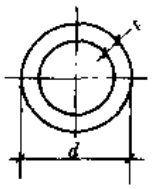


表 16-9

序号	截面尺寸（mm）					A (cm^2)	理论重量 (kg/m)	$x-x$			$y-y$		
	H	B	C	t_w	t_f			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1	100	100	20	2.3	2.3	8.29	6.50	147.08	29.42	4.21	73.63	14.73	2.98
2				3.0	3.0	10.63	8.34	184.88	36.98	4.17	91.38	18.28	2.93
3	150	100	20	2.3	2.3	9.44	7.41	367.48	49.00	6.24	73.64	14.73	2.79
4				3.0	3.0	12.13	9.52	465.35	62.05	6.19	91.39	18.28	2.75
5	200	100	20	3.0	3.0	13.63	10.70	897.42	89.74	8.11	91.40	18.28	2.59

注：卷边内圆弧半径按翼缘壁厚计算。

10）热轧无缝钢管的规格及截面特性（按 GB/T 8162—1999 摘录计算）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

表 16-10

尺寸（mm）		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A（cm^2）	（kg/m）	I（cm^4）	W（cm^3）	i（cm）
32	2.5	2.32	1.82	2.54	1.59	1.05
	3.0	2.73	2.15	2.90	1.82	1.03
	3.5	3.13	2.46	3.23	2.02	1.02
	4.0	3.52	2.76	3.52	2.20	1.00
38	2.5	2.79	2.19	4.41	2.32	1.26
	3.0	3.30	2.59	5.09	2.68	1.24
	3.5	3.79	2.98	5.70	3.00	1.23
	4.0	4.27	3.35	6.26	3.29	1.21
42	2.5	3.10	2.44	6.07	2.89	1.40
	3.0	3.68	2.89	7.03	3.35	1.38
	3.5	4.23	3.32	7.91	3.77	1.37
	4.0	4.78	3.75	8.71	4.15	1.35
45	2.5	3.34	2.62	7.56	3.36	1.51
	3.0	3.96	3.11	8.77	3.90	1.49
	3.5	4.56	3.58	9.89	4.40	1.47
	4.0	5.15	4.04	10.93	4.86	1.46
50	2.5	3.73	2.93	10.55	4.22	1.68
	3.0	4.43	3.48	12.28	4.91	1.67
	3.5	5.11	4.01	13.90	4.56	1.65
	4.0	5.78	4.54	15.41	6.16	1.63
	4.5	6.43	5.05	16.81	6.72	1.62
	5.0	7.07	5.55	18.11	7.25	1.60
54	3.0	4.81	3.77	15.68	5.81	1.81
	3.5	5.55	4.36	17.79	6.59	1.79
	4.0	6.28	4.93	19.76	7.32	1.77
	4.5	7.00	5.49	21.61	8.00	1.76
	5.0	7.70	6.04	23.34	8.64	1.74
	5.5	8.38	6.58	24.96	9.24	1.73
	6.0	9.05	7.10	26.46	9.80	1.71
57	3.0	5.09	4.00	18.61	6.53	1.91
	3.5	5.88	4.62	21.14	7.42	1.90
	4.0	6.66	5.23	23.52	8.25	1.88
	4.5	7.42	5.83	25.76	9.04	1.86
	5.0	8.17	6.41	27.86	9.78	1.85
	5.5	8.90	6.99	29.84	10.47	1.83
	6.0	9.61	7.55	31.69	11.12	1.82

尺寸/mm		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A（cm^2）	（kg/m）	I（cm^4）	W（cm^3）	i（cm）
60	3.0	5.37	4.22	21.88	7.29	2.02
	3.5	6.21	4.88	24.88	8.29	2.00
	4.0	7.04	5.52	27.73	9.24	1.98
	4.5	7.85	6.16	30.41	10.14	1.97
	5.0	8.64	6.78	32.94	10.98	1.95
	5.5	9.42	7.39	35.32	11.77	1.94
	6.0	10.18	7.99	37.56	12.52	1.92
63.5	3.0	5.70	4.48	26.15	8.24	2.14
	3.5	6.60	5.18	29.79	9.38	2.12
	4.0	7.48	5.87	33.24	10.47	2.11
	4.5	8.34	6.55	36.50	11.50	2.09
	5.0	9.19	7.21	39.60	12.47	2.08
	5.5	10.02	7.87	42.52	13.39	2.06
	6.0	10.84	8.51	45.28	14.26	2.04
68	3.0	6.13	4.81	32.42	9.54	2.30
	3.5	7.09	5.57	36.99	10.88	2.28
	4.0	8.04	6.31	41.34	12.16	2.27
	4.5	8.98	7.05	45.47	13.37	2.25
	5.0	9.90	7.77	49.41	14.53	2.23
	5.5	10.80	8.48	53.14	15.63	2.22
	6.0	11.69	9.17	56.68	16.67	2.20
70	3.0	6.31	4.96	35.50	10.14	2.37
	3.5	7.31	5.74	40.53	11.58	2.35
	4.0	8.29	6.51	45.33	12.95	2.34
	4.5	9.26	7.27	49.89	14.26	2.32
	5.0	10.21	8.01	54.24	15.50	2.30
	5.5	11.14	8.75	58.38	16.68	2.29
	6.0	12.06	9.47	62.31	17.80	2.27
73	3.0	6.60	5.18	40.48	11.09	2.48
	3.5	7.64	6.00	46.26	12.67	2.46
	4.0	8.67	6.81	51.78	14.19	2.44
	4.5	9.68	7.60	57.04	15.63	2.43
	5.0	10.68	8.38	62.07	17.01	2.41
	5.5	11.66	9.16	66.87	18.32	2.39
	6.0	12.63	9.91	71.43	19.57	2.38
76	3.0	6.88	5.40	45.91	12.08	2.58
	3.5	7.97	6.26	52.50	13.82	2.57

续表

尺寸/mm		截面面积	每米重量	截面特性			尺寸/mm		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)	d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
76	4.0	9.05	7.10	58.81	15.48	2.55	114	4.0	13.82	10.85	209.35	36.73	3.89
	4.5	10.11	7.93	64.85	17.07	2.53		4.5	15.48	12.15	232.41	40.77	3.87
	5.0	11.15	8.75	70.62	18.59	2.52		5.0	17.12	13.44	254.81	44.70	3.86
	5.5	12.18	9.56	76.14	20.04	2.50		5.5	18.75	14.72	276.58	48.52	3.84
	6.0	13.19	10.36	81.41	21.42	2.48		6.0	20.36	15.98	297.73	52.23	3.82
83	3.5	8.74	6.86	69.19	16.67	2.81		6.5	21.95	17.23	318.26	55.84	3.81
	4.0	9.93	7.79	77.64	18.71	2.80		7.0	23.53	18.47	338.19	59.33	3.79
	4.5	11.10	8.71	85.76	20.67	2.78		7.5	25.09	19.70	357.58	62.73	3.77
	5.0	12.25	9.62	93.56	22.54	2.76		8.0	26.64	20.91	376.30	66.02	3.76
	5.5	13.39	10.51	101.04	24.35	2.75	121	4.0	14.70	11.54	251.87	41.63	4.14
	6.0	14.51	11.39	108.22	26.08	2.73		4.5	16.47	12.93	279.83	46.25	4.12
	6.5	15.62	12.26	115.10	27.74	2.71		5.0	18.22	14.30	307.05	50.75	4.11
	7.0	16.71	13.12	121.69	29.32	2.70		5.5	19.96	15.67	333.54	55.13	4.09
89	3.5	9.40	7.38	86.05	19.34	3.03		6.0	21.68	17.02	359.32	59.39	4.07
	4.0	10.68	8.38	96.68	21.73	3.01		6.5	23.38	18.35	384.40	63.54	4.05
	4.5	11.95	9.38	106.92	24.03	2.99		7.0	25.07	19.68	408.80	67.57	4.04
	5.0	13.19	10.36	116.79	26.24	2.98		7.5	26.74	20.99	432.51	71.49	4.02
	5.5	14.43	11.33	126.29	28.38	2.96		8.0	28.40	22.29	455.57	75.30	4.01
	6.0	15.75	12.28	135.43	30.43	2.94	127	4.0	15.46	12.13	292.61	46.08	4.35
	6.5	16.85	13.22	144.22	32.41	2.93		4.5	17.32	13.59	325.29	51.23	4.33
	7.0	18.03	14.16	152.67	34.31	2.91		5.0	19.16	15.04	357.14	56.24	4.32
95	3.5	10.06	7.90	105.45	22.20	3.24		5.5	20.99	16.48	388.19	61.13	4.30
	4.0	11.44	8.98	118.60	24.97	3.22		6.0	22.81	17.90	418.44	65.90	4.28
	4.5	12.79	10.04	131.31	27.64	3.20		6.5	24.61	19.32	447.92	70.54	4.27
	5.0	14.14	11.10	143.58	30.23	3.19		7.0	26.39	20.72	476.63	75.06	4.25
	5.5	15.46	12.14	155.43	32.72	3.17		7.5	28.16	22.10	504.58	79.46	4.23
	6.0	16.78	13.17	166.86	35.13	3.15		8.0	29.91	23.48	531.80	83.75	4.22
	6.5	18.07	14.19	177.89	37.45	3.14	133	4.0	16.21	12.73	337.53	50.76	4.56
	7.0	19.35	15.19	188.51	39.69	3.12		4.5	18.17	14.26	375.42	56.45	4.55
102	3.5	10.83	8.50	131.52	25.79	3.48		5.0	20.11	15.78	412.40	62.02	4.53
	4.0	12.32	9.67	148.09	29.04	3.47		5.5	22.03	17.29	448.50	67.44	4.51
	4.5	13.78	10.82	164.14	32.18	3.45		6.0	23.94	18.79	483.72	72.74	4.50
	5.0	15.24	11.96	179.68	35.23	3.43		6.5	25.83	20.28	518.07	77.91	4.48
	5.5	16.67	13.09	194.72	38.18	3.42		7.0	27.71	21.75	551.58	82.94	4.46
	6.0	18.10	14.21	209.28	41.03	3.40		7.5	29.57	23.21	584.25	87.86	4.45
	6.5	19.50	15.31	223.35	43.79	3.38		8.0	31.42	24.66	616.11	92.65	4.43
	7.0	20.89	16.40	236.96	46.46	3.37	140	4.5	19.16	15.04	440.12	62.87	4.79
108	4.0	13.06	10.26	177.00	32.78	3.68		5.0	21.21	16.65	483.76	69.11	4.78
	4.5	14.62	11.49	196.35	36.36	3.66		5.5	23.24	18.24	526.40	75.20	4.76
	5.0	16.17	12.70	215.12	39.84	3.65		6.0	25.26	19.83	568.06	81.15	4.74
	5.5	17.70	13.90	233.32	43.21	3.63		6.5	27.26	21.40	608.76	86.97	4.73
	6.0	19.22	15.09	250.97	46.48	3.61		7.0	29.25	22.96	648.51	92.64	4.71
	6.5	20.72	16.27	268.08	49.64	3.60		7.5	31.22	24.51	687.32	98.19	4.69
	7.0	22.20	17.44	284.65	52.71	3.58		8.0	33.18	26.04	725.21	103.60	4.68
	7.5	23.67	18.59	300.71	55.69	3.56		9.0	37.04	29.08	798.29	114.04	4.64
	8.0	25.12	19.73	316.25	58.57	3.55		10	40.84	32.06	867.86	123.98	4.61

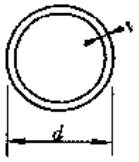
续表

尺寸/mm		截面面积	每米重量	截面特性			尺寸/mm		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)	d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
146	4.5	20.00	15.70	501.16	68.65	5.01	180	8.0	43.23	33.93	1602.04	178.00	6.09
	5.0	22.15	17.39	551.10	75.49	4.99		9.0	48.35	37.95	1772.12	196.90	6.05
	5.5	24.28	19.06	599.95	82.19	4.97		10	53.41	41.92	1936.01	215.11	6.02
	6.0	26.39	20.72	647.73	88.73	4.95		12	63.33	49.72	2245.84	249.54	5.95
	6.5	28.49	22.36	694.44	95.13	4.94	194	5.0	29.69	23.31	1326.54	136.76	6.68
	7.0	30.57	24.00	740.12	101.39	4.92		5.5	32.57	25.57	1447.86	149.26	6.67
	7.5	32.63	25.62	784.77	107.50	4.90		6.0	35.44	27.82	1567.21	161.57	6.65
	8.0	34.68	27.23	828.41	113.48	4.89		6.5	38.29	30.06	1684.61	173.67	6.63
	9.0	38.74	30.41	912.71	125.03	4.85		7.0	41.12	32.28	1800.08	185.57	6.62
	10	42.73	33.54	993.16	136.05	4.82		7.5	43.94	34.50	1913.64	197.28	6.60
152	4.5	20.85	16.37	567.61	74.69	5.22		8.0	46.75	36.70	2025.31	208.79	6.58
	5.0	23.09	18.13	624.43	82.16	5.20		9.0	52.31	41.06	2243.08	231.25	6.55
	5.5	25.31	19.87	680.06	89.48	5.18		10	57.81	45.38	2453.55	252.94	6.51
	6.0	27.52	21.60	734.52	96.65	5.17		12	68.51	53.86	2853.25	294.15	6.45
	6.5	29.71	23.32	787.82	103.66	5.15	203	6.0	37.13	29.15	1803.07	177.64	6.97
	7.0	31.89	25.03	839.99	110.52	5.13		6.5	40.13	31.50	1938.81	191.02	6.95
	7.5	34.05	26.73	891.03	117.24	5.12		7.0	43.10	33.84	2072.43	204.18	6.93
	8.0	36.19	28.41	940.97	123.81	5.10		7.5	46.06	36.16	2203.94	217.14	6.92
	9.0	40.43	31.74	1037.59	136.53	5.07		8.0	49.01	38.47	2333.37	229.89	6.90
	10	44.61	35.02	1129.99	148.68	5.03		9.0	54.85	43.06	2586.08	254.79	6.87
159	4.5	21.84	17.15	652.27	82.05	5.46		10	60.63	47.60	2830.72	278.89	6.83
	5.0	24.19	18.99	717.88	90.30	5.45		12	72.01	56.52	3296.49	324.78	6.77
	5.5	26.52	20.82	782.18	98.39	5.43		14	83.13	65.25	3732.07	367.69	6.70
	6.0	28.84	22.64	845.19	106.31	5.41		16	94.00	73.79	4138.78	407.76	6.64
	6.5	31.14	24.45	906.92	114.08	5.40	219	6.0	40.15	31.52	2278.74	208.10	7.53
	7.0	33.43	26.24	967.41	121.69	5.38		6.5	43.39	34.06	2451.64	223.89	7.52
	7.5	35.70	28.02	1026.65	129.14	5.36		7.0	46.62	36.60	2622.04	239.46	7.50
	8.0	37.95	29.79	1084.67	136.44	5.35		7.5	49.83	39.12	2789.96	254.79	7.48
	9.0	42.41	33.29	1197.12	150.58	5.31		8.0	53.03	41.63	2955.43	269.90	7.47
	10	46.81	36.75	1304.88	164.14	5.28		9.0	59.38	46.61	3279.12	299.46	7.43
168	4.5	23.11	18.14	772.96	92.02	5.78		10	65.66	51.54	3593.29	328.15	7.40
	5.0	25.60	20.10	851.14	101.33	5.77		12	78.04	61.26	4193.81	383.00	7.33
	5.5	28.08	22.04	927.85	110.46	5.75		14	90.16	70.78	4758.50	434.57	7.26
	6.0	30.54	23.97	1003.12	119.42	5.73		16	102.04	80.10	5288.81	483.00	7.20
	6.5	32.98	25.89	1076.95	128.21	5.71	245	6.5	48.70	38.23	3465.46	282.89	8.44
	7.0	35.41	27.79	1149.36	136.83	5.70		7.0	52.34	41.08	3709.06	302.78	8.42
	7.5	37.82	29.69	1220.38	145.28	5.68		7.5	55.96	43.93	3949.52	322.41	8.40
	8.0	40.21	31.57	1290.01	153.57	5.66		8.0	59.56	46.76	4186.87	341.79	8.38
	9.0	44.96	35.29	1425.22	169.67	5.63		9.0	66.73	52.38	4652.32	379.78	8.35
	10	49.64	38.97	1555.13	185.13	5.60		10	73.83	57.95	5105.63	416.79	8.32
180	5.0	27.49	21.58	1053.17	117.02	6.19		12	87.84	68.95	5976.67	487.89	8.25
	5.5	30.15	23.67	1148.79	127.64	6.17		14	101.60	79.76	6801.68	555.24	8.18
	6.0	32.80	25.75	1242.72	138.08	6.16		16	115.11	90.36	7582.30	618.96	8.12
	6.5	35.43	27.81	1335.00	148.33	6.14	273	6.5	54.42	42.72	4834.18	354.15	9.42
	7.0	38.04	29.87	1425.63	158.40	6.12		7.0	58.50	45.92	5177.30	379.29	9.41
	7.5	40.64	31.91	1514.64	168.29	6.10		7.5	62.56	49.11	5516.47	404.14	9.39

续表

尺寸/mm		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
273	8.0	66.60	52.28	5851.71	428.70	9.37
	9.0	74.64	58.60	6510.56	476.96	9.34
	10	82.62	64.86	7154.09	524.11	9.31
	12	98.39	77.24	8396.14	615.10	9.24
	14	114.91	89.42	9579.75	701.84	9.17
	16	129.18	101.41	10706.79	784.38	9.10
299	7.5	68.68	53.92	7300.02	488.30	10.31
	8.0	73.14	57.41	7747.42	518.22	10.29
	9.0	82.00	64.37	8628.09	577.13	10.26
	10	90.79	71.27	9490.15	634.79	10.22
	12	108.20	84.93	11159.52	746.46	10.16
	14	125.35	98.40	12757.61	853.35	10.09
	16	142.25	111.67	14286.48	955.62	10.02
325	7.5	74.81	58.73	9431.80	580.42	11.23
	8.0	79.67	62.54	10013.92	616.24	11.21
	9.0	89.35	70.14	11161.33	686.85	11.18
	10	98.96	77.68	12286.52	756.09	11.14
	12	118.00	92.63	14471.45	890.55	11.07
	14	136.78	107.38	16570.98	1019.75	11.01
	16	155.32	121.93	18587.38	1143.84	10.94
351	8.0	86.21	67.67	12684.36	722.76	12.13
	9.0	96.70	75.91	14147.55	806.13	12.10
	10	107.13	84.10	15584.62	888.01	12.06
	12	127.80	100.32	18381.63	1047.39	11.99
	14	148.22	116.35	21077.86	1201.02	11.93
	16	168.39	132.19	23675.75	1349.05	11.86
377	9	104.00	81.68	17628.57	935.20	13.02
	10	115.24	90.51	19430.86	1030.81	12.98
	11	126.42	99.29	21203.11	1124.83	12.95
	12	137.53	108.02	22945.66	1217.28	12.81
	13	148.59	116.70	24658.84	1308.16	12.88
	14	159.58	125.33	26342.98	1397.51	12.84
	15	170.50	133.91	27998.42	1485.33	12.81
	16	181.37	142.45	29625.48	1571.64	12.78
402	9	111.06	87.23	21469.37	1068.13	13.90
	10	123.09	96.67	23676.21	1177.92	13.86
	11	135.05	106.07	25848.66	1286.00	13.83
	12	146.95	115.42	27987.08	1392.39	13.80
	13	158.79	124.71	30091.82	1497.11	13.76
	14	170.56	133.96	32163.24	1600.16	13.73
	15	182.28	143.16	34201.69	1701.58	13.69
	16	193.93	152.31	36207.53	1801.37	13.66
426	9	117.84	93.00	25646.28	1204.05	14.75
	10	130.62	102.59	28294.52	1328.38	14.71
	11	143.34	112.58	30903.91	1450.89	14.68
	12	156.00	122.52	33474.84	1571.59	14.64
426	13	168.59	132.41	36007.67	1690.50	14.60
	14	181.12	142.25	38502.80	1807.64	14.47
	15	193.58	152.04	40960.60	1923.03	14.54
	16	205.98	161.78	43381.44	2036.69	14.51
450	9	124.63	97.88	30332.67	1348.12	15.60
	10	138.61	108.51	33477.56	1487.89	15.56
	11	151.63	119.09	36578.87	1625.73	15.53
	12	165.04	129.62	39637.01	1761.65	15.49
	13	178.38	140.10	42652.38	1895.66	15.46
	14	191.67	150.53	45625.38	2027.79	15.42
	15	204.89	160.92	48556.41	2158.06	15.39
	16	218.04	171.25	51445.87	2286.48	15.35
480	9	133.11	104.54	36951.77	1539.66	16.66
	10	147.58	115.91	40800.14	1700.01	16.62
	11	161.99	127.23	44598.63	1858.28	16.59
	12	176.34	138.50	48347.69	2014.49	16.55
	13	190.63	149.08	52047.74	2168.66	16.52
	14	204.85	160.20	55699.21	2320.80	16.48
	15	219.02	172.01	59302.54	2470.94	16.44
	16	233.11	183.08	62858.14	2619.09	16.41
500	9	138.76	108.98	41860.49	1674.42	17.36
	10	153.86	120.84	46231.77	1849.27	17.33
	11	168.90	132.65	50548.75	2021.95	17.29
	12	183.88	144.42	54811.88	2192.48	17.26
	13	198.79	156.13	59021.61	2360.86	17.22
	14	213.65	167.80	63178.39	2527.14	17.19
	15	228.44	179.41	67282.66	2691.31	17.15
	16	243.16	190.98	71334.87	2853.39	17.12
530	9	147.23	115.64	50009.99	1887.17	18.42
	10	163.28	128.24	55251.25	2084.95	18.39
	11	179.26	140.79	60431.21	2280.42	18.35
	12	195.18	153.30	65550.35	2473.60	18.32
	13	211.04	165.75	70609.15	2664.50	18.28
	14	226.83	178.15	75608.08	2853.14	18.25
	15	242.57	190.51	80547.62	3039.53	18.22
	16	258.23	202.82	85428.24	3223.71	18.18
560	9	155.71	122.30	59154.07	2112.65	19.48
	10	172.70	135.64	65373.70	2334.78	19.45
	11	189.62	148.93	71524.61	2554.45	19.41
	12	206.49	162.17	77607.30	2771.69	19.38
	13	223.29	175.37	83622.29	2986.51	19.34
	14	240.02	188.51	89570.06	3198.93	19.31
	15	256.70	201.61	95451.14	3408.97	19.28
	16	273.31	214.65	101266.01	3616.64	19.24
630	9	175.50	137.83	84679.83	2688.25	21.96
	10	194.68	152.90	93639.59	2972.69	21.92
	11	213.80	167.92	102511.65	3254.34	21.89
	12	232.86	182.89	111296.59	3533.23	21.85
	13	251.86	197.81	119994.98	3809.36	21.82
	14	270.79	212.68	128607.39	4082.77	21.78
	15	289.67	227.50	137134.39	4353.47	21.75
	16	308.47	242.27	145576.54	4621.48	21.72

11）电焊钢管的规格及截面特性（按 YB 242—63 计算）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

表 16-11

尺寸 (mm)		截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性		
d	t			I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
32	2.0	1.38	1.48	2.13	1.33	1.06
	2.5	2.32	1.82	2.54	1.59	1.05
38	2.0	2.26	1.78	3.68	1.93	1.27
	2.5	2.79	2.19	4.41	2.32	1.26
40	2.0	2.39	1.87	4.32	2.16	1.35
	2.5	2.95	2.31	5.20	2.60	1.33
42	2.0	2.51	1.97	5.04	2.40	1.42
	2.5	3.10	2.44	6.07	2.89	1.40
45	2.0	2.70	2.12	6.26	2.78	1.52
	2.5	3.34	2.62	7.56	3.36	1.51
	3.0	3.96	3.11	8.77	3.90	1.49
51	2.0	3.08	2.42	9.26	3.63	1.73
	2.5	3.81	2.99	11.23	4.40	1.72
	3.0	4.52	3.55	13.08	5.13	1.70
	3.5	5.22	4.10	14.81	5.81	1.68
53	2.0	3.20	2.52	10.43	3.94	1.80
	2.5	3.97	3.11	12.67	4.78	1.79
	3.0	4.71	3.70	14.78	5.58	1.77
	3.5	5.44	4.27	16.75	6.32	1.75
57	2.0	3.46	2.71	13.08	4.59	1.95
	2.5	4.28	3.36	15.93	5.59	1.93
	3.0	5.09	4.00	18.61	6.53	1.91
	3.5	5.88	4.62	21.14	7.42	1.90
60	2.0	3.64	2.86	15.34	5.11	2.05
	2.5	4.52	3.55	18.70	6.23	2.03
	3.0	5.37	4.22	21.88	7.29	2.02
	3.5	6.21	4.88	24.88	8.29	2.00
63.5	2.0	3.86	3.03	18.29	5.76	2.18
	2.5	4.79	3.76	22.32	7.03	2.16
	3.0	5.70	4.48	26.15	8.24	2.14
	3.5	6.60	5.18	29.79	9.38	2.12
70	2.0	4.27	3.35	24.72	7.06	2.41
	2.5	5.30	4.16	30.23	8.64	2.39
	3.0	6.31	4.96	35.50	10.14	2.37
	3.5	7.31	5.74	40.53	11.58	2.35
	4.5	9.26	7.27	49.89	14.26	2.32
76	2.0	4.65	3.65	31.85	8.38	2.62
	2.5	5.77	4.53	39.03	10.27	2.60
	3.0	6.88	5.40	45.91	12.08	2.58
	3.5	7.97	6.26	52.50	13.82	2.57
	4.0	9.05	7.10	58.81	15.48	2.55
	4.5	10.11	7.93	64.85	17.07	2.53
83	2.0	5.09	4.00	41.76	10.06	2.86
	2.5	6.32	4.96	51.26	12.35	2.85
	3.0	7.54	5.92	60.40	14.56	2.83
	3.5	8.74	6.86	69.19	16.67	2.81
	4.0	9.93	7.79	77.64	18.71	2.80
	4.5	11.10	8.71	85.76	20.67	2.78
89	2.0	5.47	4.29	51.75	11.63	3.08
	2.5	6.79	5.33	63.59	14.29	3.06
	3.0	8.11	6.36	75.02	16.86	3.04
	3.5	9.40	7.38	86.05	19.34	3.03
	4.0	10.68	8.38	96.68	21.73	3.01
	4.5	11.95	9.38	106.92	24.03	2.99
95	2.0	5.84	4.59	63.20	13.31	3.29
	2.5	7.26	5.70	77.76	16.37	3.27
	3.0	8.67	6.81	91.83	19.33	3.25
	3.5	10.06	7.90	105.45	22.20	3.24
102	2.0	6.28	4.93	78.57	15.41	3.54
	2.5	7.81	6.13	96.77	18.97	3.52
	3.0	9.33	7.32	114.42	22.43	3.50
	3.5	10.83	8.50	131.52	25.79	3.48
	4.0	12.32	9.67	148.09	29.04	3.47
	4.5	13.78	10.82	164.14	32.18	3.45
	5.0	15.24	11.96	179.68	35.23	3.43
108	3.0	9.90	7.77	136.49	25.28	3.71
	3.5	11.49	9.02	157.02	29.08	3.70
	4.0	13.07	10.26	176.95	32.77	3.68
114	3.0	10.46	8.21	161.24	28.29	3.93
	3.5	12.15	9.54	185.63	32.57	3.91
	4.0	13.82	10.85	209.35	36.73	3.89
	4.5	15.48	12.15	232.41	40.77	3.87
	5.0	17.12	13.44	254.81	44.70	3.86
121	3.0	11.12	8.73	193.69	32.01	4.17
	3.5	12.92	10.14	223.17	36.89	4.16
	4.0	14.70	11.54	251.87	41.63	4.14
127	3.0	11.69	9.17	224.75	35.39	4.39
	3.5	13.58	10.66	259.11	40.80	4.37
	4.0	15.46	12.13	292.61	46.08	4.35
	4.5	17.32	13.59	325.29	51.23	4.33
	5.0	19.16	15.04	357.14	56.24	4.32
133	3.5	14.24	11.18	298.71	44.92	4.58
	4.0	16.21	12.73	337.53	50.76	4.56
	4.5	18.17	14.26	375.42	56.45	4.55
	5.0	20.11	15.78	412.40	62.02	4.53
140	3.5	15.01	11.78	349.79	49.97	4.83
	4.0	17.09	13.42	395.47	56.50	4.81
	4.5	19.16	15.04	440.12	62.87	4.79
	5.0	21.21	16.65	483.76	69.11	4.78
	5.5	23.24	18.24	526.40	75.20	4.76
152	3.5	16.33	12.82	450.35	59.26	5.25
	4.0	18.60	14.60	509.59	67.05	5.23
	4.5	20.85	16.37	567.61	74.69	5.22
	5.0	23.09	18.13	624.43	82.16	5.20
	5.5	25.31	19.87	680.06	89.48	5.18

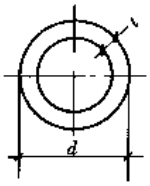
注：电焊钢管的通常长度：d = 32 ~ 70mm 时，为 3 ~ 10m；d = 76 ~ 152mm 时，为 4 ~ 10m。

续表

尺寸 (mm)		截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性		
d	t			I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
159	4.5	21.84	17.15	652.27	82.05	5.46
	5.0	24.19	18.99	717.88	90.30	5.45
	5.5	26.52	20.82	782.18	98.39	5.43
	6.0	28.84	22.64	845.19	106.31	5.41
	6.5	31.14	24.45	906.92	114.08	5.40
	7.0	33.43	26.24	967.41	121.69	5.38
	7.5	35.70	28.02	1026.65	129.14	5.36
	8.0	37.95	29.79	1084.67	136.44	5.35
	9.0	42.41	33.29	1197.12	150.58	5.31
	10	46.81	36.75	1304.88	164.14	5.28
168	4.5	23.11	18.14	772.96	92.02	5.78
	5.0	25.60	20.10	851.14	101.33	5.77
	5.5	28.08	22.04	927.85	110.46	5.75
	6.0	30.54	23.97	1003.12	119.42	5.73
	6.5	32.98	25.89	1076.95	128.21	5.71
	7.0	35.41	27.79	1149.36	136.83	5.70
	7.5	37.82	29.69	1220.38	145.28	5.68
	8.0	40.21	31.57	1290.01	153.57	5.66
	9.0	44.96	35.29	1425.22	169.67	5.63
	10	49.64	38.97	1555.13	185.13	5.60
180	5.0	27.49	21.58	1053.17	117.02	6.19
	5.5	30.15	23.67	1148.79	127.64	6.17
	6.0	32.80	25.75	1242.72	138.08	6.16
	6.5	35.43	27.81	1335.00	148.33	6.14
	7.0	38.04	29.87	1425.63	158.40	6.12
	7.5	40.64	31.91	1514.64	168.29	6.10
	8.0	43.23	33.93	1602.04	178.00	6.09
	9.0	48.25	37.95	1772.12	196.90	6.05
	10	53.41	41.92	1936.01	215.11	6.02
	12	63.33	49.72	2245.84	249.54	5.95
194	5.0	29.69	23.31	1326.54	136.76	6.68
	5.5	32.57	25.57	1447.86	149.26	6.67
	6.0	35.44	27.82	1567.21	161.57	6.65
	6.5	38.29	30.06	1684.61	173.67	6.63
	7.0	41.12	32.28	1800.08	185.57	6.62
	7.5	43.94	34.50	1913.64	197.28	6.60
	8.0	46.75	36.70	2025.31	208.79	6.58
	9.0	52.31	41.06	2243.08	231.25	6.55
	10	57.81	45.38	2453.55	252.94	6.51
	12	68.61	53.86	2853.25	294.15	6.45
203	6.0	37.13	29.15	1803.07	177.64	6.97
	6.5	40.13	31.50	1938.81	191.02	6.95
	7.0	43.10	33.84	2072.43	204.18	6.93
	7.5	46.06	36.16	2203.94	217.14	6.92
	8.0	49.01	38.47	2333.37	229.89	6.90
	9.0	54.85	43.06	2586.08	254.79	6.87
	10	60.63	47.60	2830.72	278.89	6.83
	12	72.01	56.52	3296.49	324.78	6.77
	14	83.13	65.25	3732.07	367.69	6.70
	16	94.00	73.79	4138.78	407.76	6.64
219	6.0	40.15	31.52	2278.74	208.10	7.53
	6.5	43.39	34.06	2451.64	223.89	7.52
	7.0	46.62	36.60	2622.04	239.46	7.50
	7.5	49.83	39.12	2789.96	254.79	7.48
	8.0	53.03	41.63	2955.43	269.90	7.47
	9.0	59.38	46.61	3279.12	299.46	7.43
	10	65.66	51.54	3593.29	328.15	7.40
	12	78.04	61.26	4193.81	383.00	7.33
	14	90.16	70.78	4758.50	434.57	7.26
	16	102.04	80.10	5288.81	483.00	7.20
245	6.5	48.70	38.23	3465.46	282.89	8.44
	7.0	52.34	41.08	3709.06	302.78	8.42
	7.5	55.96	43.93	3949.52	322.41	8.40
	8.0	59.56	46.76	4186.87	341.79	8.38
	9.0	66.73	52.38	4652.32	379.78	8.35
	10	73.83	57.95	5105.63	416.79	8.32
	12	87.84	68.95	5976.67	487.89	8.25
	14	101.60	79.76	6801.68	555.24	8.18
	16	115.11	90.36	7582.30	618.96	8.12
273	6.5	54.42	42.72	4834.18	354.15	9.42
	7.0	58.50	45.92	5177.30	379.29	9.41
	7.5	62.56	49.11	5516.47	404.14	9.39
	8.0	66.60	52.28	5851.71	428.70	9.37
	9.0	74.64	58.60	6510.56	476.96	9.34
	10	82.62	64.86	7154.09	524.11	9.31
	12	98.39	77.24	8396.14	615.10	9.24
	14	113.91	89.42	9579.75	701.81	9.17
	16	129.18	101.41	10706.79	784.38	9.10
299	7.5	68.68	53.92	7300.02	488.30	10.31
	8.0	73.14	57.41	7747.42	518.22	10.29
	9.0	82.00	64.37	8628.09	577.43	10.26
	10	90.79	71.27	9490.15	634.79	10.22
	12	108.20	84.93	11159.52	746.46	10.16
	14	125.35	98.40	12757.61	853.35	10.09
	16	142.25	111.67	14286.48	955.62	10.02
325	7.5	74.81	58.73	9431.80	580.42	11.23
	8.0	79.67	62.54	10013.92	616.24	11.21
	9.0	89.35	70.14	11161.33	686.85	11.18
	10	98.96	77.68	12286.52	756.09	11.14
	12	118.00	92.63	14471.45	890.55	11.07
	14	136.78	107.38	16570.98	1019.75	11.04
	16	155.32	121.93	18587.38	1143.84	10.94
351	8.0	86.21	67.67	12684.36	722.76	12.13
	9.0	96.70	75.91	14147.55	806.13	12.10
	10	107.13	84.10	15584.62	888.01	12.06
	12	127.80	100.32	18381.63	1047.39	11.99
	14	148.22	116.35	21077.86	1201.02	11.93
	16	168.39	132.19	23675.75	1349.05	11.86

注：热轧无缝钢管的通常长度为 3～12m。

12）螺旋焊钢管的规格及截面特性（按 GB9711—1988，SY5036～37—1983 计算）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

表 16-12

尺寸 (mm)		截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性		
d	t			I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
219.1	5	33.61	26.61	1988.54	176.04	7.57
	6	40.15	31.78	2822.53	208.36	7.54
	7	46.62	36.91	2266.42	239.75	7.50
	8	53.03	41.98	2900.39	283.16	7.49
244.5	5	37.60	29.77	2699.28	220.80	8.47
	6	44.93	35.57	3199.36	261.71	8.44
	7	52.20	41.33	3686.70	301.57	8.40
	8	59.41	47.03	4611.52	340.41	8.37
273	6	50.30	39.82	4888.24	328.81	9.44
	7	58.47	46.29	5178.63	379.39	9.41
	8	66.57	52.70	5853.22	428.81	8.37
323.9	6	59.89	47.41	7574.41	467.70	11.24
	7	69.65	55.14	8754.84	540.59	11.21
	8	79.35	62.82	9912.63	612.08	11.17
325	6	60.10	47.70	7653.29	470.97	11.28
	7	69.90	55.40	8846.29	544.39	11.25
	8	79.63	63.04	10016.50	616.40	11.21
355.6	6	65.87	52.23	10073.14	566.54	12.36
	7	76.62	60.68	11652.71	655.38	12.33
	8	87.32	69.08	13204.77	742.68	12.25
377	6	69.90	55.40	11079.13	587.75	13.12
	7	81.33	64.37	13932.53	739.13	13.08
	8	92.69	73.30	15795.91	837.98	13.05
	9	104.00	82.18	17628.57	935.20	13.02
406.4	6	75.44	59.75	15132.21	744.70	14.16
	7	87.79	69.45	17523.75	862.39	14.12
	8	100.09	79.10	19879.00	978.30	14.09
	9	112.31	88.70	22198.33	1092.44	14.05
	10	124.47	98.26	24482.10	1204.83	14.02
426	6	79.13	62.65	17464.62	819.94	14.85
426	7	92.10	72.83	20231.72	949.85	14.82
	8	105.00	82.97	22958.81	1077.88	14.78
	9	117.84	93.05	25646.28	1206.05	14.75
	10	130.62	103.09	28294.52	1328.38	14.71
457	6	84.97	67.23	21623.66	946.33	15.95
	7	98.91	78.18	25061.79	1096.80	15.91
	8	112.79	89.08	28453.67	1245.24	15.88
	9	126.60	99.94	31799.72	1391.67	15.84
	10	140.36	110.74	35100.34	1536.12	15.81
	11	154.05	121.49	38355.96	1678.60	15.77
	12	167.68	132.19	41566.98	1819.12	15.74
478	6	88.93	70.34	24786.71	1037.10	16.69
	7	103.53	81.81	28736.12	1202.35	16.65
	8	118.06	93.23	32634.79	1365.47	16.62
	9	132.54	104.60	36483.16	1526.49	16.58
	10	146.95	115.92	40281.65	1685.43	16.55
	11	161.30	127.19	44030.71	1842.29	16.52
	12	175.59	138.41	47730.76	1997.10	16.48
508	6	94.58	74.78	29819.20	1173.98	17.75
	7	110.12	86.99	34583.38	1361.55	17.72
	8	125.60	99.15	39290.06	1546.85	17.67
	9	141.02	111.25	43939.68	1729.91	17.65
	10	156.37	123.31	48532.72	1910.74	17.61
	11	171.66	135.32	53069.63	2089.36	17.58
	12	186.89	147.29	57550.87	2265.78	17.54
529	6	98.53	77.89	33719.80	1274.85	18.49
	7	114.74	90.61	39116.42	1478.88	18.46
	8	130.88	103.29	44450.54	1680.55	18.42

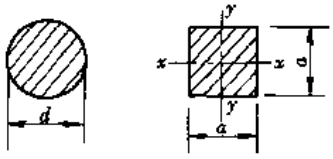
续表

尺寸(mm)		截面面积	每米重量	截面特性			尺寸(mm)		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)	d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
529	9	146.95	115.92	49722.63	1879.87	18.39	660.0	9	183.97	144.99	97552.85	2956.15	23.02
	10	162.97	128.49	54933.18	2076.87	18.35		10	204.1	160.80	107898.23	3269.64	22.98
	11	178.92	141.02	60082.67	2271.56	18.32		11	224.16	176.56	118147.08	3580.21	22.95
	12	194.81	153.50	65171.58	2463.95	18.28		12	244.17	192.27	128300.00	3887.88	22.91
	13	210.63	165.93	70200.39	2654.08	18.25		13	264.11	207.93	138357.58	4192.65	22.88
559	6	104.19	82.33	39861.10	1426.16	19.55	711.0	6	132.82	104.82	82588.87	2323.18	24.93
	7	121.33	95.79	46254.78	1654.91	19.52		7	154.74	122.03	95946.79	2698.93	24.89
	8	138.41	109.21	52578.45	1881.16	19.48		8	176.59	139.20	109190.20	3071.45	24.86
	9	155.43	122.57	58832.64	2104.92	19.45		9	198.39	156.31	122319.78	3440.78	24.82
	10	172.39	135.89	65017.85	2326.22	19.41		10	220.11	173.38	135336.18	3806.93	24.79
	11	189.28	149.16	71134.58	2545.07	19.39		11	241.78	190.39	148240.04	4169.90	24.75
	12	206.11	162.38	77183.36	2761.48	19.34		12	263.38	207.36	161032.02	4529.73	24.72
	13	222.88	175.55	83164.67	2975.48	19.31		13	284.92	224.28	173712.76	4886.44	24.68
610.0	6	113.79	89.87	51936.94	1702.85	21.36	720.0	6	134.52	106.15	85792.25	2383.12	25.25
	7	132.54	104.60	60294.82	1976.88	21.32		7	156.72	123.59	99673.56	2768.71	25.21
	8	151.22	119.27	68568.97	2248.16	21.29		8	177.85	140.97	113437.40	3151.04	25.17
	9	169.84	133.89	76759.97	2516.72	21.25		9	200.93	158.31	127084.44	3530.12	25.14
	10	188.40	148.47	84868.37	2782.57	21.22		10	222.94	175.60	140615.33	3965.98	25.11
	11	206.89	162.99	92894.73	3045.73	21.18		11	244.89	192.84	154030.74	4278.63	25.07
	12	225.33	177.47	100839.60	3306.22	21.15		12	266.77	210.02	167331.32	4648.09	25.04
	13	243.70	191.90	108703.55	3564.05	21.11		13	288.60	227.16	180517.74	5014.38	25.00
630.0	6	117.56	92.83	57268.61	1818.05	22.06	762.0	7	165.95	130.84	118344.40	3106.15	26.69
	7	136.94	108.05	66494.92	2110.95	22.03		8	189.40	149.26	134717.42	3535.90	26.66
	8	156.25	123.22	75631.80	2401.01	21.99		9	212.80	167.63	150959.68	3962.20	26.62
	9	175.50	138.33	84679.83	2688.25	21.96		10	236.13	185.95	167071.28	4385.07	26.59
	10	194.68	153.40	93639.59	2972.69	21.93		11	259.40	204.23	183053.12	4804.54	26.55
	11	213.80	168.42	102511.65	3254.34	21.89		12	282.60	222.45	198905.91	5220.63	26.52
	12	232.86	183.39	111296.59	3533.23	21.85		13	305.74	240.63	214630.33	5633.34	26.49
	13	251.86	198.31	119994.98	3809.36	21.82		14	328.82	258.76	230227.09	6042.71	26.45
660.0	6	123.21	97.27	65931.44	1997.92	23.12	813.0	7	177.16	139.64	143981.73	3541.99	28.50
	7	143.53	113.23	76570.06	2320.31	23.09		8	202.22	159.32	163942.66	4033.03	28.46
	8	163.78	129.13	87110.33	2639.71	23.05		9	227.21	178.95	183753.89	4520.39	28.43

续表

尺寸(mm)		截面面积	每米重量	截面特性		
d	t	A (cm^2)	(kg/m)	I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)
813.0	10	252.14	198.53	203416.16	5004.09	28.39
	11	277.01	218.06	222930.23	5484.14	28.36
	12	301.82	237.55	242296.83	5960.56	28.32
	13	326.56	256.98	261516.72	6433.38	28.29
	14	351.24	276.36	280590.63	6902.60	28.25
820.0	7	178.70	140.85	147765.60	3604.04	28.74
	8	203.97	160.70	168256.44	4103.82	28.71
	9	229.19	180.50	188594.94	4599.88	28.68
	10	254.34	200.26	208781.84	5092.24	28.64
	11	279.43	219.96	228817.91	5580.93	28.60
	12	304.45	239.62	248703.90	6065.95	28.57
	13	329.42	259.22	268440.55	6547.33	28.53
	14	354.32	278.78	288028.62	7025.09	28.50
	15	379.16	298.29	307468.86	7499.24	28.47
	16	413.93	317.75	326766.02	7969.81	28.43
914.0	8	227.59	179.25	233711.41	5114.04	32.03
	9	255.75	201.37	262061.17	5734.38	32.00
	10	283.86	223.44	290221.72	6350.58	31.96
	11	311.90	245.46	318193.90	6962.67	31.93
	12	339.87	267.44	345978.57	7570.65	31.89
	13	367.79	289.36	373576.55	8174.54	31.86
	14	395.64	311.23	400988.69	8774.37	31.82
	15	423.43	333.06	428215.82	9370.15	31.79
	16	451.16	354.84	455258.77	9961.90	31.75
920.0	8	229.09	180.44	238385.26	5182.29	32.25
	9	257.45	202.70	267307.72	5811.04	32.21
	10	285.74	224.92	296038.43	6435.62	32.17
	11	313.97	247.06	324578.25	7056.05	32.14
	12	342.13	269.21	352928.00	7672.35	32.11
	13	370.24	291.28	381088.55	8284.53	32.07
	14	398.28	313.31	409060.74	8892.62	32.04
	15	426.26	335.23	436845.40	9496.64	32.00
920.0	16	454.17	357.20	464443.38	10096.60	31.97
1020.0	8	254.21	200.16	325709.29	6386.46	35.78
	9	285.71	229.89	365343.91	7163.61	35.75
	10	317.14	249.58	404741.91	7936.12	35.71
	11	348.51	274.22	443904.22	8704.00	35.68
	12	379.81	298.81	482831.80	9497.29	35.64
	13	411.06	323.34	521525.58	10225.99	35.61
	14	442.24	347.83	559986.50	10980.13	35.57
	15	473.36	372.27	598215.50	11729.72	35.53
	16	504.41	396.66	636213.50	12474.77	35.50
1120.0	8	279.33	219.89	432113.97	7716.32	39.32
	9	313.97	247.09	484824.62	8657.58	39.28
	10	348.54	274.24	537249.06	9593.73	39.25
	11	383.05	301.35	589388.32	10524.79	39.21
	12	417.49	328.40	641243.45	11450.78	39.18
	13	451.88	355.40	692815.48	12371.71	39.14
	14	486.20	382.36	744105.44	13287.60	39.11
	15	520.46	409.26	795114.35	14198.47	39.07
	16	554.65	436.12	845843.26	15104.34	39.04
1220.0	10	379.94	298.90	695916.69	11408.47	42.78
	11	417.59	328.47	763623.03	12518.41	42.75
	12	455.17	357.99	830991.12	13622.81	42.71
	13	492.70	387.46	898022.09	14721.67	42.68
	14	530.16	416.88	964717.06	15815.03	42.64
	15	567.56	446.26	1031077.17	16902.90	42.61
	16	604.89	475.57	1097103.53	17985.30	42.57
1420.0	10	442.74	348.23	1001160.59	15509.30	49.85
	11	486.67	382.73	1208714.17	17024.14	49.82
	12	530.53	417.18	1315807.13	18532.49	49.78
	13	574.34	451.58	1422440.79	20034.38	49.75
	14	618.08	485.94	1528616.74	21529.81	49.71
	15	661.76	520.24	1634335.48	23018.81	49.68
	16	705.37	554.50	1739599.14	24501.40	49.64

13）热轧圆钢、方钢的规格及截面特性（按 GB/T 702—1986 计算）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—回转半径。

表 16-13

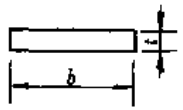
d 或 a (mm)	圆钢					方钢				
	截面面积 (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性			截面面积 (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性		
			I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)
5.5	0.238	0.187	0.0045	0.0163	0.138	0.303	0.237	0.0076	0.0277	0.159
6	0.283	0.222	0.0063	0.0212	0.150	0.360	0.283	0.0108	0.0360	0.173
6.5	0.332	0.260	0.0088	0.0270	0.163	0.423	0.332	0.0149	0.0458	0.188
7	0.385	0.302	0.0118	0.0337	0.175	0.490	0.385	0.0200	0.0572	0.202
8	0.503	0.395	0.0201	0.0503	0.200	0.640	0.502	0.0341	0.0853	0.231
9	0.636	0.499	0.0322	0.0716	0.225	0.810	0.636	0.0547	0.1215	0.260
10	0.785	0.617	0.0491	0.0982	0.250	1.000	0.785	0.0833	0.1667	0.289
11*	0.950	0.746	0.0719	0.1307	0.275	1.210	0.950	0.1220	0.2218	0.318
12	1.131	0.888	0.1018	0.1696	0.300	1.440	1.130	0.1728	0.2880	0.346
13	1.327	1.042	0.1402	0.2157	0.325	1.690	1.327	0.2380	0.3662	0.375
14	1.539	1.208	0.1886	0.2694	0.350	1.960	1.539	0.3201	0.4573	0.404
15	1.767	1.387	0.2485	0.3313	0.375	2.250	1.766	0.4219	0.5625	0.433
16	2.011	1.578	0.3217	0.4021	0.400	2.560	2.010	0.5461	0.6827	0.462
17	2.270	1.782	0.4100	0.4823	0.425	2.890	2.269	0.6960	0.8188	0.491
18	2.545	1.998	0.5153	0.5726	0.450	3.240	2.543	0.8748	0.9720	0.520
19	2.835	2.226	0.6397	0.6734	0.475	3.610	2.834	1.086	1.143	0.548
20	3.142	2.466	0.7854	0.7854	0.500	4.000	3.140	1.333	1.333	0.577
21	3.464	2.719	0.9547	0.9092	0.525	4.410	3.462	1.621	1.544	0.606
22	3.801	2.984	1.150	1.045	0.550	4.840	3.799	1.952	1.775	0.635
23*	4.155	3.261	1.374	1.194	0.575	5.290	4.153	2.332	2.028	0.664
24	4.524	3.551	1.629	1.357	0.600	5.760	4.522	2.765	2.304	0.693
25	4.909	3.853	1.917	1.534	0.625	6.250	4.906	3.255	2.604	0.722
26	5.309	4.168	2.243	1.726	0.650	6.760	5.307	3.808	2.929	0.751
27*	5.726	4.495	2.609	1.932	0.675	7.290	5.723	4.429	3.281	0.779
28	6.158	4.834	3.017	2.155	0.700	7.840	6.154	5.122	3.659	0.808
29*	6.605	5.185	3.472	2.394	0.725	8.410	6.594	5.894	4.065	0.837
30	7.069	5.549	3.976	2.651	0.750	9.000	7.065	6.750	4.500	0.866
31*	7.548	5.925	4.533	2.925	0.775	9.610	7.544	7.696	4.965	0.895
32	8.042	6.313	5.147	3.217	0.800	10.24	8.038	8.738	5.461	0.924
33*	8.553	6.714	5.821	3.528	0.825	10.89	8.549	9.883	5.990	0.953
34	9.079	7.127	6.560	3.859	0.850	11.56	9.075	11.14	6.551	0.981
35*	9.621	7.553	7.366	4.209	0.875	12.25	9.616	12.51	7.146	1.010

续表

d 或 a (mm)	圆钢					方钢				
	截面面积 (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性			截面面积 (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性		
			I (cm^4)	W (cm^3)	i (cm)			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)
36	10.18	7.990	8.245	4.580	0.900	12 96	10.17	14.00	7.776	1.039
38	11.34	8.903	10.24	5.387	0.950	14.44	11.34	17.38	9.145	1.097
40	12.57	9.865	12.57	6.283	1.000	16.00	12.56	21.33	10.67	1.155
42	13.85	10.87	15.27	7.274	1.050	17.64	13.85	25.93	12.35	1.212
45	15.90	12.48	20.13	8.946	1.125	20.25	15.90	34.17	15.19	1.299
48	18.10	14.21	26.08	10.86	1.200	23.04	18.09	44.24	18.43	1.386
50	19.64	15.42	30.68	12.27	1.250	25.00	19.63	52.08	20.83	1.443
52	21.24	16.67	35.89	13.80	1.300	27.04	21.23	60.93	23.43	1.501
55*	23.76	18.65	44.92	16.33	1.375	30.25	23.75	76.26	27.73	1.588
56*	24.63	19.33	48.27	17.24	1.400	31.36	24.62	81.95	29.27	1.617
58*	26.42	20.74	55.55	19.16	1.450	33.64	26.41	94.30	32.52	1.674
60	28.27	22.19	63.62	21.21	1.500	36.00	28.26	108.0	36.00	1.732
63	31.17	24.47	77.33	24.55	1.575	39.69	31.16	131.3	41.67	1.819
65	33.18	26.05	87.62	26.96	1.625	42 25	33.17	148.8	45.77	1.876
68	36.32	28.51	105.0	30.87	1.700	46.24	36.30	178.2	52.41	1.963
70	38.48	30.21	117.9	33.67	1.750	49.00	38.46	200.1	57.17	2.021
75	44.18	34.68	155.3	41.42	1.875	56.25	44.16	263.7	70.31	2.165
80	50.27	39.46	201.1	50 27	2.000	64.00	50.24	341 3	85.33	2.309
85	56.75	44.55	256.2	60.29	2.125	72.25	56.72	435.0	102.4	2.454
90	63.62	49.94	322.1	71.57	2.250	81.00	63.59	546.8	121.5	2.598
95	70.88	55.64	399.8	84.17	2.375	90.25	70.85	678.8	142.9	2.742
100	78.54	61.65	490.9	98.17	2.500	100.0	78.50	833.3	166.7	2.887
105	86.59	67.97	596.7	113.6	2.625	110.3	86.55	1013	192.9	3.031
110	95.03	74.60	718.7	130.7	2.750	121.0	94.99	1220	221.8	3.175
115	103.8	81.50	858.5	149.3	2.875	132.3	103.8	1458	253.5	3.320
120	113.1	88.78	1018	169.6	3.000	144.0	113.0	1728	288.0	3.464
125	122.7	96.33	1198	191.7	3.125	156.3	122.7	2035	325.5	3.608
130	132.7	104.2	1402	215.7	3.250	169.0	132.7	2380	366.2	3.753
140	153.9	120.8	1886	269.4	3.500	196.0	153.9	3201	457.3	4.041
150	176.7	138.7	2485	331.3	3.750	225.0	176.6	4219	562.5	4.330
160	201.1	157.9	3217	402.1	4.000	256.0	201.0	5461	682.7	4.619
170	227.0	178.2	4100	482.3	4.250	289.0	226.9	6960	818.8	4.907
180	254.5	199.8	5153	572.6	4.500	324.0	254.3	8748	972.0	5.196
190	283.5	222.6	6397	673.4	4.750	361.0	283.4	10860	1143	5.485
200	314.2	246.6	7854	785.4	5.000	400.0	314.0	13333	1333	5.774
210	346.4	271.9	9547	909.2	5.250	—	—	—	—	—
220	380.1	298.4	11499	1045	5.550	—	—	—	—	—
240	452.4	355.1	16286	1357	6.000	—	—	—	—	—
250	490.9	385.3	19175	1534	6.250	—	—	—	—	—

注：1. 带 * 者不推荐采用。

2. 圆钢、方钢的通常长度为 3 ~ 10m。



14）热轧扁钢的规格及重量（按 GB 704—1988）

表 16-14

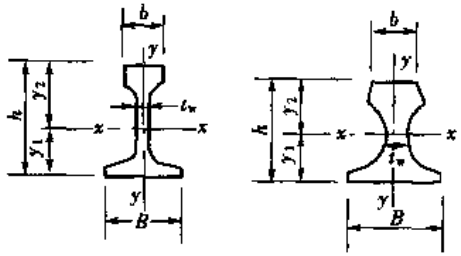
宽度 (mm)	厚度 (mm)																								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40	45	50	56	60
	理论重量 (kg/m)																								
10	0.24	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63																			
12	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.75																			
14	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88																			
16	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.15	1.26																	
18	0.42	0.57	0.71	0.85	0.99	1.13	1.27	1.41																	
20	0.47	0.63	0.78	0.94	1.10	1.26	1.41	1.57	1.73	1.88															
22	0.52	0.69	0.86	1.04	1.21	1.38	1.55	1.73	1.90	2.07															
25	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.77	1.96	2.16	2.36	2.75	3.14													
28	0.66	0.88	1.10	1.32	1.54	1.76	1.98	2.20	2.42	2.64	3.08	3.53													
30	0.71	0.94	1.18	1.41	1.65	1.88	2.12	2.36	2.59	2.83	3.30	3.77	4.24	4.71											
32	0.75	1.00	1.26	1.51	1.76	2.01	2.26	2.55	2.76	3.01	3.52	4.02	4.52	5.02											
35	0.82	1.10	1.37	1.65	1.92	2.20	2.47	2.75	3.02	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.04	6.87	7.69								
40	0.94	1.26	1.57	1.88	2.20	2.51	2.83	3.14	3.45	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	6.91	7.85	8.79								
45	1.06	1.41	1.77	2.12	2.47	2.83	3.18	3.53	3.89	4.24	4.95	5.65	6.36	7.07	7.77	8.83	9.89	10.60	11.30	12.72					
50	1.18	1.57	1.96	2.36	2.75	3.14	3.53	3.93	4.32	4.71	5.50	6.28	7.06	7.85	8.64	9.81	10.99	11.78	12.56	14.13					
55		1.73	2.16	2.59	3.02	3.45	3.89	4.32	4.75	5.18	6.04	6.91	7.77	8.64	9.50	10.79	12.09	12.95	13.82	15.54					
60		1.88	2.36	2.83	3.30	3.77	4.21	4.71	5.18	5.65	6.59	7.54	8.48	9.42	10.36	11.78	13.19	14.13	15.07	16.96	18.84	21.20			
65		2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59	5.10	5.61	6.12	7.14	8.16	9.18	10.20	11.23	12.76	14.29	15.31	16.33	18.37	20.41	22.96			
70		2.20	2.75	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.04	6.59	7.69	8.79	9.89	10.99	12.09	13.74	15.39	16.49	17.58	19.78	21.98	24.73			
75		2.36	2.94	3.53	4.12	4.71	5.30	5.89	6.48	7.07	8.24	9.42	10.60	11.78	12.95	14.72	16.48	17.66	18.84	21.20	23.55	26.49			
80		2.51	3.14	3.77	4.40	5.02	5.65	6.28	6.91	7.54	8.79	10.05	11.30	12.56	13.82	15.70	17.58	18.84	20.10	22.61	25.12	28.26	31.40	35.17	
85			3.34	4.00	4.67	5.34	6.01	6.67	7.34	8.01	9.34	10.68	12.01	13.34	14.68	16.68	18.68	20.02	21.35	24.02	26.69	30.03	33.36	37.37	40.04
90			3.53	4.24	4.95	5.65	6.36	7.07	7.77	8.48	9.89	11.30	12.72	14.13	15.54	17.66	19.78	21.20	22.61	25.43	28.26	31.79	35.32	39.56	42.39
95			3.73	4.47	5.22	5.97	6.71	7.46	8.20	8.95	10.44	11.93	13.42	14.92	16.41	18.64	20.88	22.37	23.86	26.85	29.83	33.56	37.29	41.76	44.74
100			3.92	4.71	5.50	6.28	7.06	7.85	8.64	9.42	10.99	12.56	14.13	15.70	17.27	19.62	21.98	23.55	25.12	28.26	31.40	35.32	39.25	43.96	47.10
105			4.12	4.95	5.77	6.59	7.42	8.24	9.07	9.89	11.54	13.19	14.84	16.48	18.13	20.61	23.08	24.73	26.38	29.67	32.97	37.09	41.21	46.16	49.46
110			4.32	5.18	6.04	6.91	7.77	8.64	9.50	10.36	12.09	13.82	15.54	17.27	19.00	21.59	24.18	25.90	27.63	31.09	34.54	38.86	43.18	48.36	51.81
120			4.71	5.65	6.59	7.54	8.48	9.42	10.36	11.30	13.19	15.07	16.96	18.84	20.72	23.55	26.38	28.26	30.14	33.91	37.68	42.39	47.10	52.75	56.52
125				5.89	6.87	7.85	8.83	9.81	10.79	11.78	13.74	15.70	17.66	19.62	21.58	24.53	27.48	29.44	31.40	35.32	39.25	44.16	49.06	54.95	58.88
130				6.12	7.14	8.16	9.18	10.20	11.23	12.25	14.29	16.33	18.37	20.41	22.45	25.51	28.57	30.62	32.66	36.74	40.82	45.92	51.02	57.15	61.23
140					7.69	8.79	9.89	10.99	12.09	13.19	15.39	17.58	19.78	21.98	24.18	27.48	30.77	32.97	35.17	39.56	43.96	49.46	54.95	61.54	65.94
150					8.24	9.42	10.60	11.78	12.95	14.13	16.48	18.84	21.20	23.55	25.90	29.44	32.97	35.32	37.68	42.39	47.10	52.99	58.88	65.94	70.65

注：1. 表中的粗线用以划分扁钢的组别

第 1 组——理论重量 19kg/m；

第 2 组——理论重量 19kg/m。

2. 表中的理论重量按密度为 7.85g/cm³ 计算。



15）轻轨、重轨、起重机钢轨的规格及截面特性

（轻轨按 YB 222-63，重轨按 YB 350-63、GB 181-63、GB 182-63、GB 183-63，起重机钢轨按 GB 3426-82）

I—截面惯性矩；*W*—截面模量；*i*—截面回转半径。

表 16-15

类别	规格	尺寸 (mm)				截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截面特性						标准长度 (m)
								y_1 (cm)	y_2 (cm)	$x-x$ 轴			$y-y$ 轴		
		h	B	b	t_w					I_x (cm^4)	$W_1=\frac{I_x}{y_1}$ (cm^3)	$W_2=\frac{I_x}{y_2}$ (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	
轻轨	5kg/m	50	44	22	4.5	6.41	5.03	2.22	2.78	25.2	11.4	9.1	5.35	2.43	5～10
	8kg/m	65	54	25	7.0	10.76	8.42	2.89	3.61	59.3	20.6	16.4	9.62	3.56	5～10
	11kg/m	80.5	66	32	7.0	14.31	11.20	3.96	4.09	125	31.7	30.5	15.1	4.58	6～10
	15kg/m	91	76	37	7.0	18.80	14.72	4.35	4.75	222	51.0	46.6	30.2	7.94	6～12
	18kg/m	90	80	40	10.0	23.07	18.06	4.29	4.71	240	56.1	51.0	41.1	10.30	7～12
	24kg/m	107	92	51	10.9	31.24	24.95	5.31	5.39	486	91.6	90.1	80.5	17.49	9～12
重轨	33kg/m	120	110	60	12.5	42.5	33.29	5.76	6.24	821.9	142.6	131.8	165.1	30.0	12.5
	38kg/m	134	114	68	13.0	49.5	38.73	6.67	6.73	1204.4	180.6	178.9	209.3	36.7	12.5；25
	43kg/m	140	114	70	14.5	57.0	44.65	6.90	7.10	1489.0	217.3	208.3	260.0	45.0	12.5；25
	50kg/m	152	132	70	15.5	65.8	51.51	7.10	8.10	2037.0	287.2	251.3	377.0	57.1	12.5；25
起重机钢轨	QU70	120	120	70	28	67.30	52.80	5.93	6.07	1082.0	182.5	178.1	327.2	54.53	9.0；9.5
	QU80	130	130	80	32	81.13	63.69	6.43	6.57	1547.4	240.7	235.5	482.4	74.21	10；10.5
	QU100	150	150	100	38	113.32	88.96	7.60	7.40	2864.7	376.9	387.1	941.0	125.45	11；11.5
	QU120	170	170	120	44	150.44	118.10	8.43	8.57	4923.8	584.1	574.5	1694.8	199.39	12；12.5

(2) 钢板的规格及尺寸

1) 轧制薄钢板的规格及尺寸（按 GB/T 708—1988）

表 16-16

钢板种类	钢板厚度 (mm)	钢板宽度 (mm)												
		500	600	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1500
		钢板长度 (mm)												
热轧钢板	0.35、0.4		1200		1000									
	0.45、0.5	1000	1500	1000	1500	1500		1500	1500					
	0.55、0.6	1500	1800	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500				
	0.7、0.75	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
	0.8、0.9				1500	1500	1500	1500	1500					
		1000	1200	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500				
		1500	1420	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
	1.0、1.1				1000			1000						
	1.2、1.25	1000	1200	1000	1500	1500	1500	1500	1500					
	1.4、1.5	1500	1420	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500				
	1.6、1.8	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
	2.0、2.2							1000						
		500	600	1000	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2200	2500	2800	
	2.5、2.8	1000	1200	1420	1800	1600	1700	1800	1900	2000	3000	3000	3000	3000
		1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	4000	4000	4000	4000
	3.0、3.2				1000			1000					2800	
					1500	1500	1500	1500	1500	2000	2200	2500	3000	3000
	3.5、3.8	500	600	1420	1800	1600	1700	1800	1900	3000	3000	3000	3500	3500
	4.0	1000	1200	2000	2000	2000	2000	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000
冷轧钢板	0.2、0.25		1200	1420	1500	1500	1500							
	0.3、0.4	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500				
		1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000				
	0.5、0.55		1200	1420	1500	1500	1500							
	0.6	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500				
		1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000				
	0.7、0.75		1200	1420	1500	1500	1500							
		1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500				
		1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000				
	0.8、0.9		1200	1420	1500	1500	1500	1500						
		1000	1800	1800	1800	1800	1800	1800		1500	2000	2000		
		1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000	2200	2500		
	1.0、1.1												2800	2800
	1.2、1.4	1000	1200	1420	1500	1500	1500							
		1500	1800	1800	1800	1800	1800	1800			2000	2000	3000	3000
	1.5、1.6	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000	2200	2500	3500	3500
	1.8、2.0													
	2.2、2.5	500	600											
	2.8、3.0	1000	1200	1420	1500	1500	1500							
	3.2、3.5	1500	1800	1800	1800	1800	1800	1800		2000				
	3.8、4.0	2000	2000	2000	2000	2000	2000							

2）热轧厚钢板的规格及尺寸（按 GB/T 709—1988）

表 16-17

厚度 (mm)			4.5～5.5	6～7	8～10	11～15	16～20	21～25	26～30	32～34	36～40	42～50	52～60
宽度 (m)	0.6～1.2	最大宽度 (m)	12	12	12	12	12	12	12	12	10	9	8
	>1.2～1.5		12	12	12	12	12	11	10	9	8	8	6
	>1.5～1.6		12	12	12	12	12	11	9	8	7	7	6
	>1.6～1.7		12	12	12	12	10	10	9	7	7	7	6
	>1.7～1.8		12	12	12	12	10	9	9	7	6.5	6.5	5.5
	>1.8～2.0		6	10	12	12	9	8	8	7	6.5	6	5
	>2.0～2.2		—	—	9	9	8	7	7	7	5.5	5	4.5
	>2.2～2.5		—	—	9	8	7	6	6	7	5.5	4	4
	>2.5～2.8		—	—	—	8	7	6	6	6	5	—	—
	>2.8～3.0		—	—	—	8	7	6	6	5	—	—	—

3）花纹钢板的规格及尺寸表（按 GB/T 3277—1991）

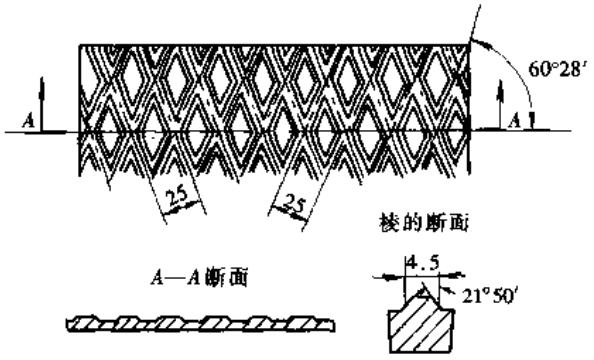


图 1

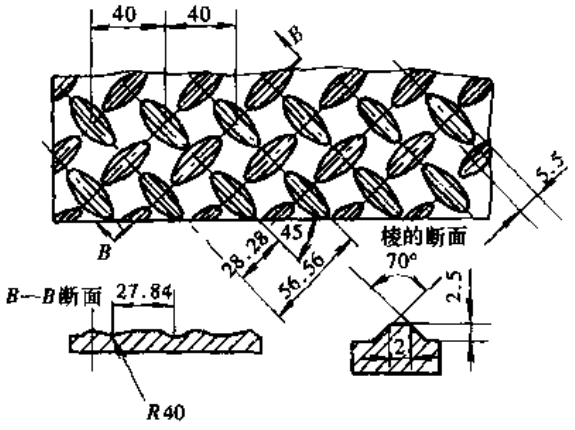


图 2

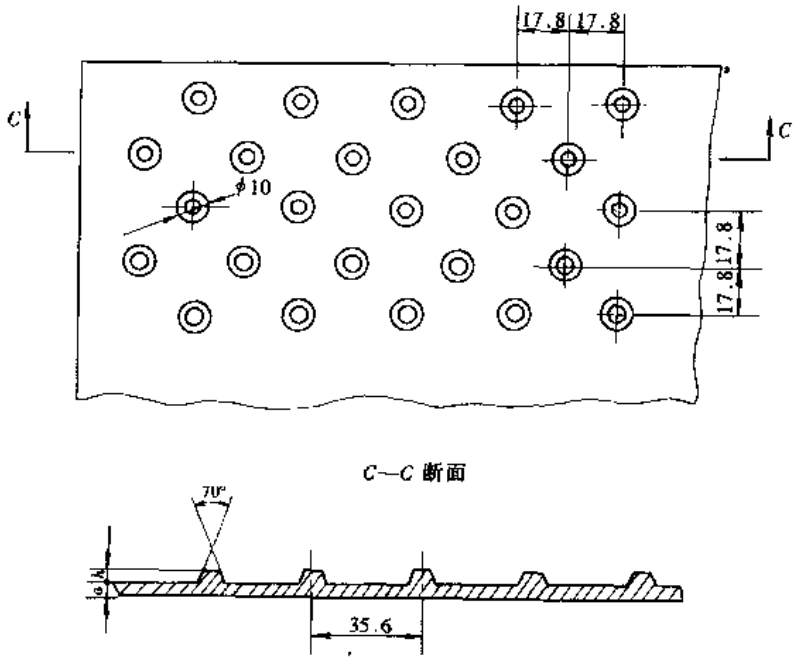


图 3

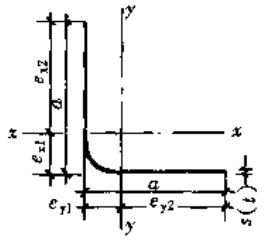
表 16-18

基本厚度 (mm)	基本厚度允许偏差 (mm)	理论重量 (kg/m²)		
		菱形	扁豆	圆豆
2.5	±0.3	21.6	21.3	21.1
3.0	±0.3	25.6	24.4	24.3
3.5	±0.3	29.5	28.4	28.3
4.0	±0.4	33.4	32.4	32.3
4.5	±0.4	37.3	36.4	36.2
5.0	+0.4 −0.5	42.3	40.5	40.2
5.5	+0.4 −0.5	46.2	44.3	44.1
6.0	+0.5 −0.6	50.1	48.4	48.1
7.0	+0.6 −0.7	59.0	52.6	52.4
8.0	+0.6 −0.8	66.8	56.4	56.2

注：花纹纹高不小于基板厚度 0.2 倍。

(3) 冷弯型钢的规格、尺寸及截面特性

1) 冷弯等边角钢的规格及截面特性（摘自 GB/T 6723—1986）

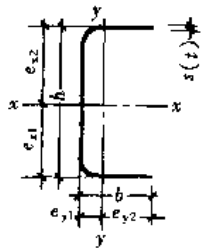


I—惯性矩；
W—截面模量；
i—回转半径。

表 16-19

尺寸 (mm)		面积 (cm^2)	重量 (kg/m)	型钢重心 (cm)		断面参数 $x-x=y-y$ (cm^4)	(cm^3)	(cm)
a	s (t)	F	M	$e_{x1}=e_{y1}$	$e_{x2}=e_{y2}$	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$i_x=i_y$
20	1.2	0.451	0.354	0.559	1.441	0.179	0.124	0.630
20	1.6	0.589	0.463	0.579	1.421	0.230	0.162	0.625
20	2.0	0.721	0.566	0.599	1.401	0.278	0.198	0.621
25	1.6	0.749	0.588	0.704	1.796	0.464	0.258	0.786
25	2.0	0.921	0.723	0.724	1.776	0.563	0.317	0.782
25	2.5	1.127	0.885	0.749	1.751	0.679	0.388	0.776
25	3.0	1.323	1.039	0.774	1.726	0.786	0.455	0.770
30	1.6	0.909	0.714	0.829	2.171	0.817	0.376	0.948
30	2.0	1.121	0.880	0.849	2.151	0.998	0.464	0.943
30	2.5	1.377	1.081	0.874	2.126	1.210	0.569	0.937
30	3.0	1.623	1.274	0.898	2.102	1.409	0.671	0.931
35	2.5	1.628	1.278	0.999	2.501	1.965	0.706	1.099
35	3.0	1.924	1 51	1.023	2.477	2.298	0.928	1.093
35	4.0	2.487	1.952	1.073	2.427	2.911	1.199	1 082
40	2.0	1.521	1.194	1.099	2.901	2.438	0.840	1.265
40	2.5	1.877	1.473	1.123	2.877	2.979	1.036	1.259
40	3.0	2.223	1.475	1.148	2.852	3.496	1.226	1.253
40	4.0	2.886	2.266	1.198	2.802	4.455	1.590	1.242
50	2.0	1.921	1.508	1.349	3.651	4.848	1.327	1.588
50	2.5	2.377	1.866	1.735	3.265	5.952	1.641	1.582
50	3.0	2.823	2.216	1.398	3.602	7.015	1.948	1.576
50	4.0	3.686	2.894	1.448	3.552	9.022	2.540	1.564
60	2.0	2.321	1.822	1.599	4.401	8.478	1.926	1.910
60	2.5	2.877	2.258	1.623	4.377	10.440	2.385	1.904
60	3.0	3.423	2.687	1.648	4.352	12.342	2.836	1.898
60	4.0	4.486	3.522	1.698	4.302	15.970	3.712	1.886
70	3.0	4.023	3.158	1.898	5.102	19.853	3.891	2.221
70	4.0	5.286	4.150	1.948	5.052	25.799	5.107	2.209
70	5.0	6.510	5.110	1.997	5.003	31.430	6.283	2.197
75	3.0	4.324	3.394	2.023	5.477	24.546	4.482	2.383
75	4.0	5.687	4.464	2.073	5.423	31.955	5.888	2.370
80	3.0	4.623	3.629	2.148	5.852	29.921	5.113	2.543
80	4.0	6.086	4.778	2.198	5.802	39.009	6.723	2.531
80	5.0	7.510	5.895	2.247	5.753	47.677	8.288	2.519
100	3.0	5.823	4.571	2.648	7.352	59.231	8.057	3.189
100	4.0	7.686	6.034	2.698	7.302	77.571	10.623	3.176
100	5.0	9.510	7.465	2.747	7.253	95.237	13.132	3.164
100	6.0	11.295	8.866	2.797	7.203	112.247	15.584	3.152
120	3.0	7.024	5.514	3.148	8.852	103.277	11.667	3.835
120	4.0	9.287	7.290	3.198	8.802	135.664	15.413	3.822

2）冷弯槽钢的规格及截面特性（摘自 GB/T 6723—1986）



I—惯性矩；

W—截面模数；

i—回转半径。

表 16-20

尺寸			面积	重量	型钢重心		断面参数					
							$x-x$			$y-y$		
(mm)			(cm^2)	(kg/m)	(cm)		(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)
h	b	s (t)	F	M	e_{y1}	e_{x1}	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y
20	10	1.5	0.511	0.401	0.324	1.0	0.281	0.281	0.741	0.047	0.070	0.305
20	10	2.0	0.643	0.505	0.349	1.0	0 330	0.330	0.716	0.058	0.089	0.300
20	10	2.5	0.755	0.593	0.374	1.0	0.361	0.361	0.691	0.066	0.105	0.295
30	10	1.5	0.661	0.519	0.268	1.5	0.767	0.511	1.076	0.055	0.075	0.288
30	10	2.0	0.843	0.662	0.290	1.5	0.925	0.617	1.047	0.068	0.096	0.284
30	10	2.5	1.005	0 789	0.312	1.5	1.042	0.695	1.018	0.079	0.115	0.280
30	30	3.0	2.347	1.843	1.186	1.5	3.317	2.211	1.188	2.114	1.165	0.949
32	20	2.0	1.283	1.007	0.661	1 6	1.995	1.247	1.247	0.5119	0.382	0.632
32	20	2.5	1.555	1.221	0.688	1.6	2.328	1.455	1.223	0.6086	0.464	0.626
40	20	2.0	1.443	1.133	0.599	2.0	3.388	1.694	1.532	0.556	0.397	0.621
30	20	2.5	1.755	1.378	0.624	2.0	3.987	1.993	1.507	0.665	0.483	0.615
40	20	3.0	2.047	1.607	0.649	2.0	4.498	2.249	1.482	0.762	0.564	0 610
40	25	2.0	1.643	1.29	0.8	2.0	4.113	2.057	1.582	1.04	0.612	0.796
40	40	2.5	2.755	2.163	1.486	2.0	7.511	3.756	1.651	4.596	1.828	1.292
50	30	2.0	2.043	1.604	0.922	2.5	8.093	3.237	1.990	1.872	0.901	0.957
50	30	2.5	2.505	1.967	0.948	2.5	9.684	3.873	1.966	2.266	1.104	0.951
50	30	3.0	2.947	2.314	0.975	2.5	11.119	4.447	1.942	2.632	1.299	0.944
50	40	2.5	3.005	2.359	1.373	2.5	12.511	5.004	2.04	5.022	1.912	1.293
50	40	3.0	3.548	3.785	1.402	2.5	14.442	5.777	2.018	5.862	2.256	1.285
50	50	3.0	4.148	3.256	1.850	2.5	17.760	7.104	2.069	10.838	3.441	1.617
60	25	2.5	2.505	1.966	0.687	3.0	12.81	4.27	2.261	1.449	0.799	0.761
60	25	3.0	2.948	2.314	0.71	3.0	14.723	4.908	2.235	1.682	0.94	0.755
60	30	2.5	2.755	2.163	0.874	3.0	14.874	4.958	2.323	2.421	1.139	0.937
60	30	3.0	3.247	2.549	0.898	3.0	17.155	5.718	2.298	2.819	1.342	0.931
60	40	2.5	3.25	2.555	1.277	3.0	19.013	6.338	2.417	5.383	1.977	1.286
60	40	3.0	3.848	3.021	1.304	3.0	22.04	7.347	2.393	6.298	2.336	1.279
60	40	4.0	4.973	3.904	1.359	3.0	27.394	9.131	2.347	7.980	3.022	1.267
70	40	2.5	3.505	2.751	1.195	3.5	27.144	7.755	2.783	5.692	2.029	1.274
70	40	3.0	4.148	3.256	1.221	3.5	31.561	9.017	2.758	6.671	2.401	1.268
70	40	4.0	5.373	4.218	1.273	3.5	39.473	11.278	2.710	8.482	3.11	1.256
80	30	2.5	3.255	2.555	0.759	4.0	29.516	7.379	3.011	2.662	1.188	0.904
80	30	3.0	3.848	3.021	0.782	4.0	34.258	8.565	2.984	3.109	1.402	0.899
80	30	2.0	4.973	3.904	0.828	4.0	42.677	10.669	2.929	3.928	2.808	0.889
80	35	2.5	3.505	2.751	0.937	4.0	33.271	8.318	3.081	4.108	1.603	1.083
80	35	3.0	4.148	3.256	0.96	4.0	38.707	9.677	3.055	4.811	1.894	1.077

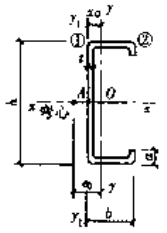
续表

尺寸			面积	重量	型钢重心		断面参数					
							$x-x$			$y-y$		
(mm)			(cm^2)	(kg/m)	(cm)		(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)
h	b	s (t)	F	M	e_{y1}	e_{x1}	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y
		4.0										
80	35	4.0	5.373	4.218	1.008	4.0	48.458	12.115	3.003	6.109	2.451	1.066
80	40	2.5	3.755	2.948	1.123	4.0	37.021	9.255	3.139	5.959	2.072	1.259
80	40	3.0	4.447	3.491	1.148	4.0	43.148	10.787	3.114	6.992	2.452	1.253
80	40	4.0	5.773	4.532	1.198	4.0	54.220	13.555	3.064	8.911	3.181	1.242
80	50	2.5	4.255	3.34	1.521	4.0	44.537	11.134	3.235	11.032	3.171	1.61
80	50	3.0	5.048	3.963	1.547	4.0	52.054	13.014	3.211	12.982	3.76	1.604
80	50	4.0	6.573	5.16	1.6	4.0	65.802	16.451	3.164	16.643	4.895	1.591
100	35	2.5	4.005	3.144	0.835	5.0	56.608	11.322	3.759	4.399	1.651	1.048
100	35	3.0	4.748	3.727	0.858	5.0	66.109	13.222	3.731	5.16	1.953	1.042
100	35	4.0	6.173	4.846	0.903	5.0	83.411	16.682	3.676	6.574	2.532	1.032
100	40	2.5	4.255	3.34	1.006	5.0	62.55	12.51	3.834	6.404	2.139	1.227
100	40	3.0	5.048	3.963	1.03	5.0	73.168	14.634	3.807	7.526	2.534	1.221
100	40	4.0	6.573	5.16	1.077	5.0	92.633	18.527	3.754	9.625	3.293	1.21
100	40	5.0	8.021	6.296	1.123	5.0	109.838	21.968	3.701	11.546	4.014	1.200
100	50	2.5	4.755	3.733	1.374	5.0	74.436	14.887	3.957	11.906	3.284	1.582
100	50	3.0	5.647	4.433	1.398	5.0	87.275	17.455	5.931	14.030	3.896	1.576
100	50	4.0	7.373	5.788	1.448	5.0	111.051	22.210	3.880	18.045	5.081	1.564
100	60	3.0	6.248	4.904	1.792	5.0	101.404	20.281	4.029	23.207	5.516	1.927
100	60	4.0	8.173	6.416	1.845	5.0	129.518	25.904	3.981	29.967	7.212	1.915
100	60	5.0	10.021	7.866	1.897	5.0	155.005	31.001	3.933	36.270	8.840	1.903
100	40	3.0	5.648	4.434	0.936	6.0	113.274	18.879	4.478	7.946	2.593	1.186
120	40	4.0	7.373	5.788	0.981	6.0	144.172	24.029	4.422	10.185	3.374	1.175
120	40	5.0	9.021	7.081	1.027	6.0	171.881	28.647	4.365	12.245	4.118	1.165
120	60	3.0	6.847	5.375	1.648	6.0	154.337	25.722	4.747	24.685	5.673	1.898
120	60	4.0	8.973	7.044	1.698	6.0	197.988	32.998	4.697	31.941	7.425	1.886
120	70	3.0	7.448	5.847	2.039	6.0	174.888	29.148	4.846	37.723	7.604	2.251
120	70	4.0	9.773	7.672	2.091	6.0	224.94	37.49	4.798	48.952	9.972	2.238
120	70	5.0	12.021	9.436	2.143	6.0	271.131	45.188	4.749	59.547	12.26	2.226
120	70	6.0	14.19	11.139	2.195	6.0	313.613	52.269	4.701	69.531	14.471	2.214
120	80	3.0	8.048	6.318	2.446	6.0	195.426	32.571	4.928	54.33	9.782	2.598
120	80	4.0	10.573	8.3	2.5	6.0	251.863	41.977	4.881	70.653	12.846	2.585
120	80	5.0	13.021	10.221	2.554	6.0	304.214	50.702	4.834	86.125	15.814	2.572
120	80	6.0	15.39	12.081	2.609	6.0	352.637	58.773	4.787	100.771	18.692	2.559
140	60	3.0	7.447	5.846	1.527	7.0	220.977	31.568	5.447	25.929	5.798	1.865
140	60	4.0	9.773	7.672	1.575	7.0	284.429	40.632	5.394	33.601	7.594	1.854
140	60	5.0	12.021	9.436	1.623	7.0	343.066	49.009	5.342	40.823	9.327	1.842
140	60	6.0	14.19	11.139	1.671	7.0	397.169	56.738	5.29	47.634	11.003	1.832
140	70	3.0	8.048	6.318	1.898	7.0	249.15	35.593	5.564	39.71	7.783	2.221
140	70	4.0	10.573	8.3	1.948	7.0	321.467	45.924	5.514	51.607	10.215	2.209
140	70	5.0	13.021	10.221	1.998	7.0	388.717	55.531	5.464	62.876	12.57	2.197
140	70	6.0	15.390	12.081	2.047	7.0	451.073	64.439	5.414	73.54	14.848	2.186
160	40	3.0	6.848	5.376	0.799	8.0	228.573	28.572	5.777	8.567	2.676	1.118

续表

尺寸			面积	重量	型钢重心		断面参数					
							$x-x$			$y-y$		
(mm)			(cm^2)	(kg/m)	(cm)		(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)
h	b	s (t)	F	M	e_{y1}	e_{y2}	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y
160	40	4.0	8.973	7.044	0.842	8.0	293.092	36.637	5.715	11.01	3.486	1.108
160	40	5.0	11.090	8.651	0.886	8.0	352.094	44.012	5.652	13.274	4.262	1.098
160	40	6.0	12.947	10.197	0.929	8.0	405.763	50.720	5.589	15.374	5.006	1.088
160	50	3.0	7.473	5.846	1.097	8.0	265.551	33.194	5.971	16.175	4.144	1.474
160	50	4.0	9.721	7.672	1.142	8.0	341.205	42.722	5.914	20.904	5.418	1.463
160	50	5.0	12.090	9.436	1.186	8.0	412.107	51.522	5.856	25.334	6.643	1.452
160	50	6.0	14.148	11.139	1.231	8.0	476.947	59.618	5.798	29.483	7.822	1.441
160	60	3.0	8.047	6.317	1.425	8.0	302.511	37.813	6.134	26.987	5.899	1.831
160	60	4.0	10.573	8.300	1.471	8.0	390.418	48.802	6.076	35.011	7.731	1.819
160	60	5.0	13.021	10.221	1.517	8.0	472.183	59.022	6.021	42.585	9.501	1.808
160	60	6.0	15.390	12.081	1.564	8.0	548.13	68.516	5.968	49.749	11.214	1.798
180	60	3.0	8.648	6.789	1.382	9.0	400.161	44.462	6.802	37.903	5.984	1.796
180	60	4.0	11.373	8.928	1.427	9.0	517.598	57.511	6.746	36.23	7.845	1.785
180	60	5.0	14.021	11.006	1.472	9.0	627.43	69.714	6.689	44.109	9.646	1.774
180	60	6.0	16.59	13.023	1.501	9.0	729.872	81.097	6.633	51.563	11.388	1.763
180	80	3.0	9.848	7.730	2.027	9.0	494.157	54.906	7.084	62.101	10.397	2.511
180	80	4.0	12.973	10.184	2.075	9.0	641.478	71.275	7.031	81.026	13.675	2.499
180	80	5.0	16.021	12.576	2.123	9.0	780.509	86.723	6.979	99.118	16.865	2.487
180	80	6.0	18.990	14.907	2.171	9.0	911.600	101.289	6.929	116.427	19.973	2.476
200	50	3.0	8.648	6.789	0.965	10.0	456.87	45.687	7.268	17.110	4.24	1.407
200	50	4.0	11.373	8.928	1.009	10.0	590.643	59.064	7.207	22.144	5.548	1.395
200	50	5.0	14.021	11.006	1.053	10.0	715.558	71.556	7.144	26.879	6.809	1.383
200	50	6.0	16.590	13.023	1.096	10.0	831.851	83.185	7.081	31.334	8.027	1.374
200	60	3.0	9.248	7.26	1.26	10.0	515.088	51.509	7.463	28.697	6.054	1.762
200	60	4.0	12.173	9.556	1.304	10.0	667.486	66.749	7.405	37.285	7.94	1.75
200	60	5.0	15.021	11.791	1.349	10.0	810.641	81.064	7.346	45.424	9.767	1.739
200	60	6.0	17.79	13.965	1.393	10.0	944.795	94.482	7.288	53.136	11.534	1.728
200	80	4.0	13.773	10.812	1.966	10.0	821.120	82.112	7.721	83.686	13.869	2.464
200	80	5.0	17.021	13.361	2.013	10.0	1000.71	100.071	7.667	102.441	17.111	2.453
200	80	6.0	20.190	15.894	2.060	10.0	1170.516	117.051	7.614	100.388	20.267	2.441
250	50	4.0	13.373	10.498	0.888	12.5	1031.179	82.494	8.781	23.284	5.662	1.32
250	50	5.0	16.521	12.909	0.931	12.5	1254.395	100.352	8.714	23.298	6.955	1.309
250	50	6.0	19.590	15.378	0.974	12.5	1464.371	117.150	8.646	33.035	8.206	1.299
250	80	4.0	15.773	12.382	1.742	12.5	1394.307	111.545	8.402	89.167	14.248	2.378
250	80	5.0	19.521	15.324	1.787	12.5	1704.645	136.372	9.345	109.283	17.589	2.366
250	80	6.0	23.19	18.204	1.832	12.5	2000.303	160.024	9.287	128.592	20.848	2.355
350	80	4.0	19.773	15.522	1.43	17.5	3157.082	180.405	12.636	96.808	14.735	2.213
350	80	5.0	24.521	19.249	1.474	17.5	3875.607	221.463	12.572	118.792	18.203	2.201
350	80	6.0	29.19	22.914	1.5117	17.5	4566.678	260.953	12.508	139.961	21.589	2.19

3）卷边槽形冷弯薄壁型钢的规格及截面特性（按 GB 50018—2002）



卷 边 槽 钢

表 16-21

尺寸 (mm)				截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	x_0 (cm)	$x-x$			$y-y$				y_1-y_1	e_0 (cm)	I_t (cm^4)	I_w (cm^6)	k (cm^{-1})	W_{w1} (cm^4)	W_{w2} (cm^4)
h	b	a	t				I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	W_{ymax} (cm^3)	W_{ymin} (cm^3)	I_{y1} (cm^4)						
80	40	15	2.0	3.47	2.72	1.452	34.16	3.14	8.54	7.79	1.50	5.36	3.06	15.10	3.36	0.0462	112.9	0.0126	16.03	15.74
100	50	15	2.5	5.23	4.11	1.706	81.34	3.94	16.27	17.19	1.81	10.08	5.22	32.41	3.94	0.1090	352.8	0.0109	34.47	29.41
100	50	20	2.5	5.46	4.29	1.755	84.22			19.38					4.35	0.1195	467.4			
100	50	20	3.0	6.49	5.09	1.732	99.11			22.55					4.29	0.2052	565.6			
120	50	20	2.5	5.98	4.70	1.706	129.40	4.65	21.57	20.96	1.87	12.28	6.36	38.36	4.03	0.1246	660.9	0.0085	51.04	48.36
120	50	20	3.0	7.06	5.54	1.592	152.32			24.05					4.03	0.2232	756.2			
120	60	20	3.0	7.65	6.01	2.106	170.68	4.72	28.45	37.36	2.21	17.74	9.59	71.31	4.87	0.2296	1153.2	0.0087	75.68	68.84
140	50	20	2.0	5.27	4.14	1.590	154.03	5.41	22.00	18.56	1.88	11.68	5.44	31.86	3.87	0.0703	794.8	0.0058	51.44	52.22
140	50	20	2.2	5.76	4.52	1.590	167.40	5.39	23.91	20.03	1.87	12.02	5.87	34.53	3.84	0.0929	852.5	0.0065	55.98	56.84
140	50	20	2.5	6.48	5.09	4.580	186.78	5.39	26.68	22.11	1.85	13.96	6.47	38.38	3.80	0.1351	931.9	0.0075	62.56	63.56
140	50	20	3.0	7.64	6.00	1.473	219.38			25.33					3.80	0.2442	1028.4			
140	60	20	3.0	8.25	6.48	1.964	245.42	5.45	35.06	39.49	2.19	20.11	9.79	71.33	4.61	0.2476	1589.8	0.0078	92.69	79.00
160	60	20	2.0	6.07	4.76	1.850	236.59	6.24	29.57	29.99	2.22	16.19	7.23	50.83	4.52	0.0809	1596.3	0.0044	76.92	71.30
160	60	20	2.2	6.64	5.21	1.850	257.57	6.23	32.20	32.45	2.21	17.53	7.82	55.19	4.50	0.1071	1717.8	0.0049	83.82	77.55
160	60	20	2.5	7.48	5.87	1.850	288.13	6.21	36.02	35.96	2.19	19.47	8.66	61.49	4.45	0.1559	1887.7	0.0056	93.87	86.63
160	60	20	3.0	8.78	6.89	1.740	335.77			44.08					4.46	0.2772	2080.7			
160	70	20	3.0	9.45	7.42	2.224	373.64	6.29	46.71	60.42	2.53	27.17	12.65	107.20	5.25	0.2836	3070.5	0.0060	135.49	109.92
180	60	20	2.5	7.84	6.45	1.655	374.14			36.47					4.32	0.1719	2302.8			
180	60	20	3.0	9.35	7.31	1.634	443.17			42.63					4.26	0.2952	2676.1			
180	70	20	2.0	6.87	5.39	2.110	343.93	7.08	38.21	45.18	2.57	21.37	9.25	75.97	5.17	0.0916	2934.3	0.0035	109.50	95.22
180	70	20	2.2	7.52	5.90	2.110	374.90	7.06	41.66	48.97	2.55	23.19	10.02	82.19	5.14	0.1213	3165.6	0.0038	119.44	103.58
180	70	20	2.5	8.48	6.66	2.110	420.20	7.04	46.69	54.42	2.53	25.82	11.12	92.08	5.10	0.1767	3492.2	0.0044	133.99	115.73
180	70	20	3.0	9.92	7.79	2.002	473.09			60.92					5.11	0.3132	3844.7			

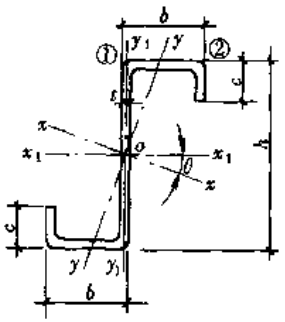
续表

尺寸 (mm)				截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	z_0 (cm)	$x-x$			$y-y$				y_1-y_1	e_0 (cm)	I_t (cm^4)	I_w (cm^6)	k (cm^{-1})	W_{w1} (cm^4)	W_{w2} (cm^4)
h	b	a	t				I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	W_{ymax} (cm^3)	W_{ymin} (cm^3)	I_{y1} (cm^4)						
200	70	20	2.0	7.27	5.71	2.000	440.04	7.78	44.00	46.71	2.54	23.32	9.35	75.88	4.96	0.0969	3672.3	0.0032	126.74	106.15
200	70	20	2.2	7.96	6.25	2.000	479.87	7.77	47.99	50.64	2.52	25.31	10.13	82.49	4.93	0.1284	3963.8	0.0035	138.26	115.74
200	70	20	2.5	8.98	7.05	2.000	538.21	7.74	53.82	56.27	2.50	28.18	11.25	92.09	4.89	0.1871	4376.2	0.0041	155.14	129.75
200	70	20	3.0	1.05	8.28	1.893	623.01			64.06					4.91	0.3312	4825.3			
220	70	20	2.5	9.26	7.27	1.817	656.91			56.21					4.77	0.2031	5100.0			
220	70	20	3.0	11.06	8.68	4.796	779.67			65.92					4.72	0.3492	5942.5			
220	75	20	2.0	7.87	6.18	2.080	574.45	8.54	52.22	56.88	2.69	27.35	10.50	90.93	5.18	0.1049	5313.5	0.0028	158.43	127.32
220	75	20	2.2	8.62	6.77	2.080	626.85	8.53	56.99	61.71	2.68	29.70	11.38	98.91	5.15	0.1391	5742.1	0.0031	172.92	138.93
220	75	20	2.5	9.73	7.64	2.070	703.76	8.50	63.98	68.66	2.66	33.11	12.65	110.51	5.11	0.2028	6351.1	0.0035	194.18	155.94
250	70	20	2.5	9.97	7.83	1.688	888.72			58.31					4.52	0.2188	6759.4			
250	70	20	3.0	11.91	9.35	1.667	1055.62			68.37					4.47	0.3762	7883.6			
250	80	20	2.5	10.45	8.20	2.026	959.93			80.77					5.32	0.2292	9268.0			
250	80	20	3.0	12.48	9.80	2.004	1140.73			94.95					5.27	0.3942	10835.2			
280	70	20	2.5	10.68	8.38	1.575	1164.47			60.12					4.29	0.2344	8700.0			
280	70	20	3.0	12.76	10.02	1.555	1384.05			70.50					4.24	0.4032	10154.5			
280	80	20	2.5	11.16	8.76	1.896	1254.00			83.39					5.07	0.2448	11932.1			
280	80	20	3.0	13.33	10.46	1.876	1491.08			98.03					5.02	0.4212	13960.3			
300	80	20	2.5	11.63	9.13	1.819	1477.16			84.96					4.92	0.2552	13930.3			
300	80	20	3.0	13.91	10.92	1.799	1757.07			99.87					4.87	0.4392	16304.9			

注：表中未列全特性的为北京市北泡轻钢建材有限公司提供。

余均摘自 GB 50018—2002。

4）直卷边Z形冷弯薄壁型钢截面特性表（按GB 50018—2002）



I——截面惯性矩；

W——截面模量；

i——截面回转半径；

I_t——截面抗扭惯性矩；

I_ω——截面扇性惯性矩；

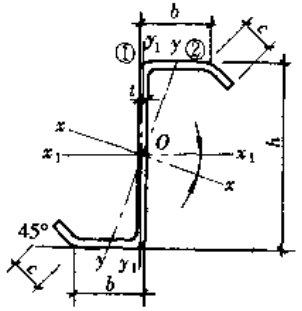
W_ω——截面扇性模量；

k——弯扭特性系数$\left(k=\sqrt{\frac{GI_t}{EI_\omega}}\right)$。

表 16-22

序号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm^2)	重量质量 (kg/m)	θ (°)	x_1-x_1 轴			y_1-y_1 轴			$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				I_{xy1} (cm^4)	I_t (cm^4)	I_ω (cm^6)	k (cm^{-1})	$W_{\omega 1}$ (cm^4)	$W_{\omega 2}$ (cm^4)
	h	b	c	t				I_{x1} (cm^4)	i_{x1} (cm)	W_{x1} (cm^3)	I_{y1} (cm^4)	i_{y1} (cm)	W_{y1} (cm^3)	I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_{x1} (cm^3)	W_{x2} (cm^3)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	W_{y1} (cm^3)	W_{y2} (cm^3)						
1	100	40	20	2.0	4.07	3.19	24.02	60.04	3.84	12.01	17.02	2.05	4.36	70.70	4.17	15.93	11.94	6.36	1.25	3.36	4.42	23.93	0.0542	325.0	0.0081	49.97	29.16
2	100	40	20	2.5	4.98	3.91	23.77	72.10	3.80	14.42	20.02	2.00	5.17	84.63	4.12	19.18	14.47	7.49	1.23	4.07	5.28	28.45	0.1038	381.9	0.0102	62.25	35.03
3	120	50	20	2.0	4.87	3.82	24.05	106.97	4.69	17.83	30.23	2.49	6.17	126.06	5.09	23.55	17.40	11.14	1.51	4.83	5.74	42.77	0.0649	785.2	0.0057	84.05	43.96
4	120	50	20	2.5	5.98	4.70	23.83	129.39	4.65	21.57	35.91	2.45	7.37	152.05	5.04	28.55	21.21	13.25	1.49	5.89	6.89	51.30	0.1246	930.9	0.0072	104.68	52.94
5	120	50	20	3.0	7.05	5.54	23.60	150.14	4.61	25.02	40.88	2.41	8.43	175.92	4.99	33.18	24.80	15.11	1.46	6.89	7.92	58.99	0.2116	1058.9	0.0087	125.37	61.22
6	140	50	20	2.5	6.48	5.09	19.42	186.77	5.37	26.68	35.91	2.35	7.37	209.19	5.67	32.55	26.34	14.48	1.49	6.69	6.78	60.75	0.1350	1289.0	0.0064	137.04	60.03
7	140	50	20	3.0	7.65	6.01	19.20	217.26	5.33	31.04	40.83	2.31	8.43	241.62	5.62	37.76	30.70	16.52	1.47	7.84	7.81	69.93	0.2296	1468.2	0.0077	164.94	69.91
8	160	60	20	2.5	7.48	5.87	19.87	288.12	6.21	36.01	58.15	2.79	9.90	323.13	6.57	44.00	34.95	23.14	1.76	9.00	8.71	96.32	0.1559	2634.3	0.0048	205.98	86.28
9	160	60	20	3.0	8.85	6.95	19.78	336.66	6.17	42.08	66.66	2.74	11.39	376.76	6.52	51.48	41.08	26.56	1.73	10.58	10.07	111.51	0.2656	3019.4	0.0058	247.41	100.15
10	160	70	20	2.5	7.98	6.27	23.77	319.13	6.32	39.89	87.74	3.32	12.76	374.76	6.85	52.35	38.23	32.11	2.01	10.53	10.86	126.37	0.1663	3793.3	0.0041	238.87	106.91
11	160	70	20	3.0	7.45	7.42	23.57	373.64	6.29	46.71	101.10	3.27	14.76	437.72	6.80	61.33	45.01	37.03	1.98	12.39	12.58	146.86	0.2836	4365.0	0.0050	285.78	124.26
12	180	70	20	2.5	8.48	6.66	20.37	420.18	7.04	46.69	87.74	3.22	12.76	473.34	7.47	57.27	44.88	34.58	2.02	11.66	10.86	143.18	0.1767	4907.9	0.0037	294.53	119.41
13	180	70	20	3.0	10.05	7.89	20.18	492.61	7.00	54.73	101.11	3.17	14.76	553.83	7.42	67.22	52.89	39.89	1.99	13.72	12.59	166.47	0.3016	5652.2	0.0045	353.32	138.92

5）斜卷边 Z 形冷弯薄壁型钢截面特性表（按 GB 50018—2002）



I——截面惯性矩；

W——截面模量；

i——截面回转半径；

I_t——截面抗扭惯性矩；

I_ω——截面扇性惯性矩；

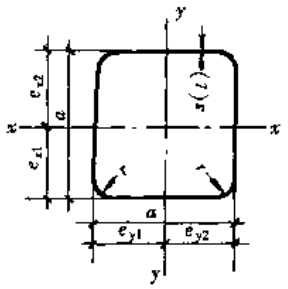
W_ω——截面扇性模量；

k——弯扭特性系数$\left(k=\sqrt{\frac{GI_t}{EI_\omega}}\right)$。

表 16-23

序号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm^2)	重量 (kg/m)	θ (°)	x_1-x_1 轴			y_1-y_1 轴			$x-x$ 轴				$y-y$ 轴				I_{xy1} (cm^4)	I_t (cm^4)	I_ω (cm^6)	k (cm^{-1})	$W_{\omega 1}$ (cm^4)	$W_{\omega 2}$ (cm^4)
	h	b	c	t				I_{x1} (cm^4)	i_{x1} (cm)	W_{x1} (cm^3)	I_{y1} (cm^4)	i_{y1} (cm)	W_{y1} (cm^3)	I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_{x1} (cm^3)	W_{x2} (cm^3)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	W_{y1} (cm^3)	W_{y2} (cm^3)						
1	140	50	20	2.0	5.392	4.233	21.99	162.07	5.48	23.15	39.37	2.70	6.23	185.96	5.87	29.26	27.67	15.47	1.69	6.22	8.03	59.19	0.0719	968.9	0.0053	53.36	67.41
2	140	50	20	2.2	5.909	4.638	22.00	176.81	5.47	25.26	42.93	2.70	6.81	202.93	5.86	32.00	30.09	16.81	1.69	6.80	9.04	64.64	0.0953	1050.3	0.0059	58.34	73.57
3	140	50	20	2.5	6.676	5.240	22.02	198.45	5.45	28.35	48.15	2.69	7.66	227.83	5.84	36.04	33.61	18.77	1.68	7.65	10.68	72.66	0.1391	1167.2	0.0068	65.68	82.60
4	160	60	20	2.0	6.192	4.861	22.10	246.83	6.31	30.85	60.27	3.12	8.24	283.68	6.77	38.98	37.41	23.42	1.95	8.15	10.11	90.73	0.0826	1900.7	0.0041	78.75	90.38
5	160	60	20	2.2	6.789	5.329	22.11	269.59	6.30	33.70	65.80	3.11	9.01	309.89	6.76	42.66	40.42	25.50	1.94	8.91	11.34	99.18	0.1095	2064.7	0.0045	86.18	98.70
6	160	60	20	2.5	7.676	6.025	22.13	303.09	6.28	37.89	73.93	3.10	10.14	348.49	6.74	48.11	45.25	28.54	1.93	10.04	13.29	111.64	0.1599	2301.9	0.0052	97.16	110.91
7	180	70	20	2.0	6.992	5.489	22.19	356.62	7.14	39.62	87.42	3.54	10.51	410.32	7.66	50.04	47.90	33.72	2.20	10.34	12.46	131.67	0.0932	3437.7	0.0032	111.10	119.13
8	180	70	20	2.2	7.669	6.020	22.19	389.84	7.13	43.32	95.52	3.53	11.50	448.59	7.65	54.80	52.22	36.76	2.19	11.31	13.94	144.03	0.1237	3740.3	0.0036	121.66	130.18
9	180	70	20	2.5	8.676	6.810	22.21	438.84	7.11	48.76	107.46	3.52	12.96	505.09	7.63	61.86	58.57	41.21	2.18	12.76	16.25	162.31	0.1807	4179.8	0.0041	137.30	146.42
10	200	70	20	2.0	7.392	5.803	19.31	455.43	7.85	45.54	87.42	3.44	10.51	506.90	8.28	54.52	52.61	35.94	2.21	11.32	13.81	146.94	0.0986	4348.7	0.0029	132.47	129.17
11	200	70	20	2.2	8.109	6.365	19.31	498.02	7.84	49.80	95.52	3.43	11.50	554.35	8.27	59.92	57.41	39.20	2.20	12.39	15.48	160.76	0.1308	4733.4	0.0033	145.15	141.17
12	200	70	20	2.5	9.176	7.203	19.31	560.92	7.82	56.09	107.46	3.42	12.96	624.42	8.25	67.42	64.47	43.96	2.19	13.98	18.11	181.18	0.1912	5293.3	0.0037	163.95	158.85
13	220	75	20	2.0	7.992	6.274	18.30	592.79	8.61	53.89	108.58	3.60	11.75	652.87	9.04	63.38	61.42	43.50	2.33	13.08	15.84	181.66	0.1066	6260.3	0.0026	166.31	152.62
14	220	75	20	2.2	8.769	6.884	18.30	648.52	8.60	58.96	113.22	3.59	12.86	714.28	9.03	69.44	67.08	47.47	2.33	14.32	17.73	198.80	0.1415	6819.4	0.0028	182.31	166.86
15	220	75	20	2.5	9.926	7.792	18.31	730.93	8.58	66.45	127.44	3.58	14.50	805.09	9.01	78.43	75.41	53.28	2.32	16.17	20.72	224.18	0.2068	7635.0	0.0032	206.07	187.86

6）方形空心型钢的规格及截面特性（按 GB/T 6728—1986）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—回转半径；
I_t、W_t—扭转常数；
r—圆弧半径。

表 16-24

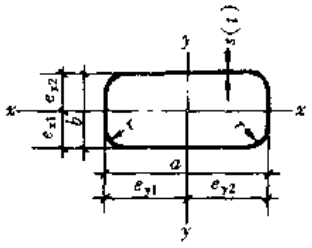
尺寸		面积	重量	型钢重心		断面参数				
						$x-x=y-y$			扭转常数	
(mm)		(cm^2)	(kg/m)	(cm)		(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)
a	$s=r$	F	M	$e_{x1}=e_{x2}$	$e_{y1}=e_{y2}$	I_{xy}	W_{xy}	i_{xy}	I_t	W_t
20	1.6	1.111	0.873	1.0	1.0	0.607	0.607	0.739	1.025	1.067
20	2.0	1.336	1.050	1.0	1.0	0.691	0.691	0.719	1.197	1.265
25	1.2	1.105	0.868	1.25	1.25	1.025	0.820	0.963	1.655	1.352
25	1.5	1.325	1.062	1.25	1.25	1.216	0.973	0.948	1.998	1.643
25	2.0	1.736	1.363	1.25	1.25	1.482	1.186	0.923	2.502	2.085
30	1.2	1.345	1.057	1.5	1.5	1.833	1.222	1.167	2.925	1.983
30	1.6	1.751	1.376	1.5	1.5	2.308	1.538	1.147	3.756	2.565
30	2.0	2.136	1.678	1.5	1.5	2.721	1.814	1.128	4.511	3.105
30	2.5	2.589	2.032	1.5	1.5	3.154	2.102	1.103	5.347	3.720
30	2.6	2.675	2.102	1.5	1.5	3.230	2.153	1.098	5.499	3.836
30	3.25	3.205	2.518	1.5	1.5	3.643	2.428	1.066	6.369	4.518
40	1.2	1.825	1.434	2.0	2.0	4.532	2.266	1.575	7.125	3.606
40	1.6	2.391	1.879	2.0	2.0	5.794	2.897	1.556	9.247	4.702
40	2.0	2.936	2.307	2.0	2.0	6.939	3.469	1.537	11.238	5.745
40	2.5	3.589	2.817	2.0	2.0	8.213	4.106	1.512	13.539	6.970
40	2.6	3.715	2.919	2.0	2.0	8.447	4.223	1.507	13.974	7.205
40	3.0	4.208	3.303	2.0	2.0	9.320	4.660	1.488	15.628	8.109
40	4.0	5.347	4.198	2.0	2.0	11.064	5.532	1.438	19.152	10.120
50	2.0	3.736	2.936	2.5	2.5	14.146	5.658	1.945	22.575	9.185
50	2.5	4.589	3.602	2.5	2.5	16.941	6.776	1.921	27.436	11.220
50	2.6	4.755	3.736	2.5	2.5	17.467	6.987	1.916	28.369	11.615
50	3.0	5.408	4.245	2.5	2.5	19.463	7.785	1.897	31.972	13.149
50	3.2	5.726	4.499	2.5	2.5	20.397	8.159	1.887	33.694	13.890
50	4.0	6.947	5.454	2.5	2.5	23.725	9.490	1.847	40.047	16.680
50	5.0	8.356	6.567	2.5	2.5	27.012	10.804	1.797	46.760	19.767
60	2.0	4.536	3.564	3.0	3.0	25.141	8.380	2.354	39.725	13.425

续表

尺寸		面积	重量	型钢重心		断面参数				
						$x-x=y-y$			扭转常数	
(mm)		(cm^2)	(kg/m)	(cm)		(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)
a	$s=r$	F	M	$e_{x1}=e_{x2}$	$e_{y1}=e_{y2}$	I_{xy}	W_{xy}	i_{xy}	I_t	W_t
60	2.5	5.589	4.387	3.0	3.0	30.340	10.113	2.329	48.539	16.470
60	2.6	5.795	4.554	3.0	3.0	31.330	10.443	2.325	50.247	17.064
60	3.0	6.608	5.187	3.0	3.0	35.130	11.710	2.505	56.892	19.389
60	4.0	8.547	6.710	3.0	3.0	43.539	14.513	2.256	72.188	24.840
60	5.0	10.356	8.129	3.0	3.0	50.468	16.822	2.207	85.560	29.767
70	2.0	5.336	4.193	3.5	3.5	40.724	11.635	2.762	63.886	18.465
70	2.6	6.835	5.371	3.5	3.5	51.075	14.593	2.733	81.165	23.554
70	3.2	8.286	6.511	3.5	3.5	60.612	17.317	2.704	97.549	28.431
70	4.0	10.147	7.966	3.5	3.5	72.108	20.602	2.665	117.975	34.690
70	5.0	12.356	9.699	3.5	3.5	84.602	24.172	2.616	141.183	41.767
80	2.0	6.132	4.819	4.0	4.0	61.697	15.424	3.170	96.258	24.305
80	2.6	7.875	6.188	4.0	4.0	77.743	19.435	3.141	122.686	31.084
80	3.2	9.566	7.517	4.0	4.0	92.708	23.177	3.113	147.953	37.622
80	4.0	11.747	9.222	4.0	4.0	111.031	27.757	3.074	179.808	45.960
80	5.0	14.356	11.269	4.0	4.0	131.414	32.853	3.025	216.628	55.767
80	6.0	16.832	13.227	4.0	4.0	149.121	37.280	2.976	250.050	64.877
90	2.0	6.936	5.450	4.5	4.5	88.857	19.746	3.579	138.042	30.945
90	2.6	8.915	7.005	4.5	4.5	112.373	24.971	3.550	176.367	39.653
90	3.2	10.846	8.523	4.5	4.5	134.501	29.889	3.521	213.234	48.092
90	4.0	13.347	10.478	4.5	4.5	161.907	35.979	3.482	260.088	58.920
90	5.0	16.356	12.839	4.5	4.5	192.903	42.867	3.434	314.896	71.767
100	2.6	9.955	7.823	5.0	5.0	156.006	31.201	3.958	243.770	49.263
100	3.2	12.126	9.529	5.0	5.0	187.274	37.454	3.929	295.313	59.842
100	4.0	14.947	11.734	5.0	5.0	226.337	45.267	3.891	361.213	73.480
100	5.0	18.356	14.409	5.0	5.0	271.071	54.214	3.842	438.986	89.767
100	8.0	27.791	21.838	5.0	5.0	379.601	75.920	3.695	640.756	133.446
115	2.6	11.515	9.048	5.75	5.75	240.609	41.845	4.571	374.015	65.627
115	3.2	14.046	11.037	5.75	5.75	289.817	50.403	4.542	454.126	79.868
115	4.0	17.347	13.630	5.75	5.75	351.897	61.199	4.503	557.238	98.320
110	5.0	21.356	16.782	5.75	5.75	423.969	73.733	4.455	680.099	120.517
120	3.2	14.686	11.540	6.0	6.0	330.874	55.145	4.746	517.542	87.183
120	4.0	18.147	14.246	6.0	6.0	402.260	67.043	4.708	635.603	107.400
120	5.0	22.356	17.549	6.0	6.0	485.441	80.906	4.659	776.632	131.767
130	4.0	20.547	16.146	6.75	6.75	581.681	86.175	5.320	913.966	137.040

注：表中未列者见 GB 50018—2002

7）短形空心型钢的规格及截面特性（按 GB/T 6728—1986）



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—回转半径；
r—圆弧半径。

表 16-25

尺寸			面积	重量	断面参数						扭转常数	
					$x-x$			$y-y$				
(mm)			(cm^2)	(kg/m)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)
a	b	$s=r$	F	M	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_t	W_t
30	15	1.5	1.202	0.945	0.424	0.566	0.594	1.281	0.854	1.023	1.083	1.141
30	20	2.5	2.089	1.642	1.150	1.150	0.741	2.206	1.470	1.022	2.634	2.345
40	20	1.2	1.345	1.057	0.922	0.922	0.828	2.725	1.362	1.423	2.260	1.743
40	20	1.6	1.751	1.376	1.150	1.150	0.810	3.433	1.716	1.400	2.877	2.245
40	20	2.0	2.136	1.678	1.342	1.342	0.792	4.048	2.024	1.376	3.424	2.705
50	25	1.5	2.102	1.650	6.653	2.661	1.779	2.253	1.802	1.035	5.519	3.406
50	30	1.6	2.391	1.879	3.600	2.400	1.226	7.955	3.182	1.823	8.031	4.382
50	30	2.0	2.936	2.307	4.291	2.861	1.208	9.535	3.814	1.801	9.727	5.345
50	30	2.5	3.589	2.817	11.296	4.518	1.774	5.50	3.366	1.186	11.666	6.470
50	30	3.0	4.208	3.303	12.827	5.130	1.745	5.696	3.797	1.163	15.401	7.950
50	30	3.2	4.446	3.494	5.925	3.950	1.154	13.377	5.351	1.734	14.307	7.900
50	30	4.0	5.347	4.198	15.239	6.095	1.688	6.682	4.455	1.117	16.244	9.320
50	32	2.0	3.016	2.370	4.986	3.116	1.285	9.996	3.998	1.820	10.879	5.729
50	35	2.5	3.839	3.017	7.272	4.155	1.376	12.707	5.083	1.819	15.277	7.658
60	30	2.5	4.089	3.209	17.933	5.799	2.094	5.998	3.998	1.211	16.054	7.845
60	30	3.0	4.808	3.774	20.496	6.832	2.064	6.794	4.529	1.188	17.335	9.129
60	40	1.6	3.031	2.382	8.154	4.077	1.640	15.221	5.073	2.240	16.911	7.160
60	40	2.0	3.736	2.936	9.830	4.915	1.621	18.410	6.136	2.219	20.652	8.785
60	40	2.5	4.589	3.602	22.069	7.356	2.192	11.734	5.867	1.599	25.045	10.720
60	40	3.0	5.408	4.245	25.374	8.458	2.166	13.436	6.718	1.576	29.121	12.549
60	40	3.2	5.726	4.499	14.062	7.031	1.567	26.601	8.867	2.155	30.661	13.250
60	40	4.0	6.947	5.454	30.974	10.324	2.111	16.269	8.134	1.530	36.298	15.880
70	50	2.5	5.589	4.195	22.587	9.035	2.010	38.011	10.860	2.607	45.637	15.970
70	50	3.0	6.608	5.187	44.046	12.584	2.581	26.099	10.439	1.987	53.426	18.789
70	50	4.0	8.547	6.710	54.663	15.618	2.528	32.210	12.884	1.941	67.613	24.040
70	50	5.0	10.356	8.129	63.435	18.124	2.474	37.179	14.871	1.894	79.908	28.767
80	40	2.0	4.536	3.564	12.720	6.360	1.674	37.355	9.338	2.869	30.820	11.825

续表

尺寸			面积	重量	断面参数						扭转常数	
					$x-x$			$y-y$				
(mm)			(cm^2)	(kg/m)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)
a	b	$s=r$	F	M	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_t	W_t
80	40	2.5	5.589	4.387	45.103	11.275	2.840	15.255	7.627	1.652	37.467	14.470
80	40	2.6	5.795	4.554	15.733	7.866	1.647	46.579	11.644	2.835	38.744	14.984
80	40	3.0	6.608	5.187	52.246	13.061	2.811	17.552	8.776	1.629	43.680	16.989
80	40	4.0	8.547	6.111	64.780	16.195	2.752	21.474	10.737	1.585	54.787	21.640
80	40	5.0	10.356	8.129	75.080	18.770	2.692	24.567	12.283	1.540	64.110	25.767
80	60	3.0	7.808	6.129	70.042	17.510	2.995	44.886	14.962	2.397	88.111	26.229
80	60	4.0	10.147	7.966	87.905	21.976	2.943	56.105	18.701	2.351	112.53	33.800
80	60	5.0	12.356	9.699	103.925	25.811	2.890	65.634	21.878	2.304	134.53	40.767
90	40	2.5	6.089	4.785	17.015	8.507	1.671	60.686	13.485	3.156	43.880	16.345
90	50	2.0	5.336	4.193	23.367	9.346	2.092	57.876	12.861	3.293	53.294	16.865
90	50	2.6	6.835	5.371	29.162	11.665	2.065	72.640	16.142	3.259	67.464	21.474
90	50	3.0	7.808	6.129	81.845	18.187	2.237	32.735	13.094	2.047	76.433	24.429
90	50	4.0	10.147	7.966	102.696	22.821	3.181	40.695	16.278	2.002	97.162	31.400
90	50	5.0	12.356	9.699	120.570	26.793	3.123	47.345	18.938	1.957	115.436	37.767
100	50	3.0	8.408	6.600	106.451	21.290	3.558	36.053	14.421	2.070	88.311	27.249
100	60	2.0	7.126	4.822	38.602	12.867	2.508	84.585	16.917	3.712	84.002	22.705
100	60	2.6	7.875	6.188	48.474	16.158	2.480	106.663	21.332	3.680	106.816	29.004
120	50	2.0	6.536	5.136	30.283	12.113	2.152	117.992	19.665	4.248	78.307	22.625
120	60	2.0	6.936	5.450	45.333	15.111	2.556	131.918	21.986	4.360	107.792	27.345
120	60	3.2	10.846	8.523	67.940	22.646	2.502	199.876	33.312	4.292	165.215	42.332
120	60	4.0	13.347	10.478	240.724	40.120	4.246	81.235	27.078	2.466	200.407	51.720
120	60	5.0	16.356	12.839	286.941	47.823	4.188	95.968	31.989	2.422	240.869	62.767
120	80	2.6	9.955	7.823	108.906	27.226	3.307	202.757	33.792	4.512	223.620	47.183
120	80	3.2	12.126	9.529	130.478	32.619	3.280	243.542	40.590	4.481	270.587	57.282
120	80	4.0	14.947	11.734	294.569	49.094	4.439	157.281	39.320	3.243	33.0438	70.280
120	80	5.0	18.356	14.409	353.108	58.851	4.385	187.747	46.936	3.198	400.735	95.767
120	80	6.0	21.632	16.981	405.998	67.666	4.332	214.977	53.744	3.152	465.940	100.397
120	80	8.0	27.791	21.838	260.314	65.078	3.060	495.591	82.598	4.222	580.769	127.046
120	100	8.0	30.991	24.353	447.484	89.496	3.799	596.114	99.352	4.385	856.089	162.886
140	90	3.2	14.046	11.037	194.803	43.289	3.724	384.007	54.858	5.228	409.778	75.868
140	90	4.0	17.347	13.631	235.920	52.426	3.687	466.585	66.655	5.186	502.004	93.320
140	90	5.0	21.356	16.782	283.320	62.960	3.642	562.606	80.372	5.132	611.389	114.267
150	100	3.2	15.326	12.043	262.263	52.452	4.136	488.184	65.091	5.643	538.150	90.818

8）钢网架螺栓球规格系列（按 JG 10—1999）

表 16-26

螺栓球代号	螺栓球直径 D	螺栓球代号	螺栓球直径 D
BS100	100	BS160	160
BS105	105	BS170	170
BS110	110	BS180	180
BS115	115	BS190	190
BS120	120	BS200	200
BS125	125	BS210	210
BS130	130	BS220	220
BS140	140	BS240	240
BS150	150	BS260	260

(4) 两个等边及不等边角钢组合时连接填板的最大间距

1）两个热轧等边角钢组合时连接填板的最大间距表

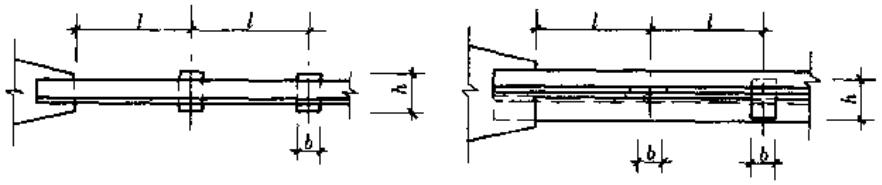


表 16-27*a*

型　号	(a)			(b)		
	l（mm）		填板尺寸	l（mm）		填板尺寸
	受　压	受　拉	$b \times h$（mm）	受　压	受　拉	$b \times h$（mm）
L30 × 30	360	720	50 × 50	230	460	50 × 55
L30 × 36	430	860	50 × 55	280	560	50 × 60
L40 × 40	485	970	50 × 60	310	620	50 × 65
L45 × 45	540	1080	50 × 65	350	700	50 × 75
L50 × 50	600	1200	60 × 70	390	780	60 × 85
L56 × 56	670	1340	60 × 75	435	870	60 × 100
L63 × 63	750	1500	60 × 85	490	980	60 × 110
L70 × 70	850	1700	60 × 90	550	1100	60 × 120
L75 × 75	900	1800	60 × 95	580	1160	60 × 130
L80 × 80	970	1940	60 × 100	620	1240	60 × 140
L90 × 90	1080	2160	60 × 110	700	1400	60 × 160
L100 × 100	1190	2380	60 × 120	770	1540	60 × 180
L110 × 110	1330	2660	70 × 130	855	1710	70 × 200
L125 × 125	1520	3040	70 × 145	980	1960	70 × 220
L140 × 140	1700	3400	80 × 160	1100	2200	80 × 250
L160 × 160	1960	3920	90 × 180	1255	2510	90 × 280
L180 × 180	2200	4400	90 × 200	1410	2820	90 × 320
L200 × 200	2430	4860	90 × 220	1560	3120	90 × 360

注：1. 填板间距按下列公式计算：

T 形连接时，

受压构件　$l = 40i_x$

受拉构件　$l = 80i_x$

十字形连接时，

受压构件　$l = 40i_{y0}$

受拉构件　$l = 80i_{y0}$

式中　i_x——取一个角钢平行于填板的形心轴的截面回转半径；

i_{y0}——取一个角钢的最小截面回转半径。

2. 填板厚度应根据节点板的厚度或连接构造要求确定。

3. 在受压构件的两个侧向支承点之间的填板数不宜少于两个。

2）两个热轧不等边角钢组合时连接填板的最大间距表

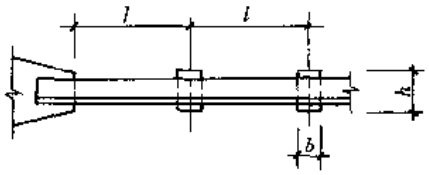


表 16-27*b*

型号	(*a*)			(*b*)		
	l（mm）		填板尺寸 *b* × *h*（mm）	*l*（mm）		填板尺寸 *b* × *h*（mm）
	受压	受拉		受压	受拉	
L32 × 20	215	430	50 × 50	400	800	50 × 40
L40 × 25	275	550	50 × 55	500	1000	50 × 40
L45 × 28	310	620	50 × 60	570	1140	50 × 45
L50 × 32	360	720	60 × 70	635	1270	60 × 50
L56 × 36	400	800	60 × 70	710	1420	60 × 50
L63 × 40	440	880	60 × 80	790	1580	60 × 55
L70 × 45	500	1000	60 × 85	880	1760	60 × 60
L75 × 50	550	1100	60 × 90	930	1860	60 × 65
L80 × 50	550	1100	60 × 95	1010	2020	60 × 65
L90 × 56	620	1240	60 × 110	1140	2280	60 × 75
L100 × 63	700	1400	60 × 120	1260	2520	60 × 85
L100 × 80	940	1880	60 × 120	1250	2500	60 × 100
L110 × 70	780	1560	70 × 130	1390	2780	70 × 90
L125 × 80	900	1800	70 × 145	1580	3160	70 × 100
L140 × 90	1000	2000	80 × 160	1770	3540	80 × 110
L160 × 100	1110	2220	90 × 180	2020	4040	90 × 120
L180 × 110	1220	2440	90 × 200	2290	4580	90 × 130
L200 × 125	1395	2790	90 × 220	2540	5080	90 × 145

注：1. 填板间距按下列公式计算：

长肢相连时，

受压构件 $l = 40i_y$

受拉构件 $l = 80i_y$

短肢相连时，

受压构件 $l = 40i_x$

受压构件 $l = 80i_x$

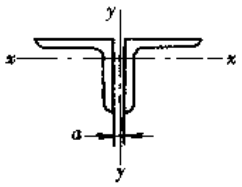
式中 i_y、i_x——均取一个角钢平行于填板的形心轴的截面回转半径。

2. 填板厚度应根据节点板的厚度或连接构造要求确定。

3. 在受压构件的两个侧向支承点之间的填板数不宜少于两个。

17. 组 合 截

(1) 两个热轧等边角钢的组合截面特性(按 GB/T 9787—1988 计算)



I—截面惯性矩;

W—截面模量;

i—截面回转半径。

角钢型号	截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	$x-x$ 轴				截					
			I_x (cm^4)	$W_{x\max}$ (cm^3)	$W_{x\min}$ (cm^3)	i_x (cm)	0		4		6	
							W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^4)	i_y (cm)
2L20×3	2.26	1.78	0.80	1.33	0.57	0.59	0.81	0.85	1.03	1.00	1.15	1.08
4	2.92	2.29	0.99	1.55	0.73	0.58	1.09	0.87	1.38	1.02	1.55	1.11
2L25×3	2.86	2.25	1.63	2.25	0.92	0.76	1.26	1.05	1.52	1.20	1.66	1.27
4	3.72	2.92	2.05	2.69	1.18	0.74	1.69	1.07	2.04	1.22	2.21	1.30
2L30×3	3.50	2.75	2.91	3.44	1.35	0.91	1.81	1.25	2.11	1.39	2.28	1.47
4	4.55	3.57	3.69	4.16	1.75	0.90	2.42	1.26	2.83	1.41	3.06	1.49
3	4.22	3.31	5.16	5.18	1.98	1.11	2.60	1.49	2.95	1.63	3.14	1.70
2L36×4	5.51	4.33	6.59	6.36	2.57	1.09	3.47	1.51	3.95	1.65	4.21	1.73
5	6.76	5.31	7.90	7.36	3.13	1.08	4.36	1.52	4.96	1.67	5.30	1.75
3	4.72	3.70	7.18	6.56	2.47	1.23	3.20	1.65	3.59	1.79	3.80	1.86
2L40×4	6.17	4.85	9.19	8.11	3.21	1.22	4.28	1.67	4.80	1.81	5.09	1.88
5	7.58	5.95	11.06	9.44	3.91	1.21	5.37	1.68	6.03	1.83	6.39	1.90
3	5.32	4.18	10.35	8.50	3.15	1.39	4.05	1.85	4.48	1.99	4.71	2.06
2L45×4	6.97	5.47	13.31	10.58	4.11	1.38	5.41	1.87	5.99	2.01	6.30	2.08
5	8.58	6.74	16.07	12.39	5.02	1.37	6.78	1.89	7.51	2.03	7.91	2.10
6	10.15	7.97	18.65	13.98	5.89	1.36	8.16	1.90	9.05	2.05	9.53	2.12
3	5.94	4.66	14.35	10.72	3.92	1.55	5.00	2.05	5.47	2.19	5.72	2.26
2L50×4	7.79	6.12	18.51	13.41	5.12	1.54	6.68	2.07	7.31	2.21	7.65	2.28
5	9.61	7.54	22.43	15.79	6.26	1.53	8.36	2.09	9.16	2.23	9.59	2.30
6	11.38	8.93	26.10	17.90	7.37	1.51	10.06	2.10	11.03	2.25	11.56	2.32
3	6.69	5.25	20.38	13.72	4.95	1.75	6.27	2.29	6.79	2.43	7.06	2.50
2L56×4	8.78	6.89	26.37	17.26	6.48	1.73	8.37	2.31	9.07	2.45	9.44	2.52
5	10.83	8.50	32.03	20.43	7.94	1.72	10.47	2.33	11.36	2.47	11.83	2.54
8	16.73	13.14	47.25	28.13	12.05	1.68	16.87	2.38	18.34	2.52	19.13	2.60
4	9.96	7.81	38.06	22.43	8.27	1.96	10.59	2.59	11.36	2.72	11.78	2.79
5	12.29	9.64	46.35	26.67	10.16	1.94	13.25	2.61	14.23	2.74	14.75	2.82
2L63×6	14.58	11.44	54.24	30.51	11.99	1.93	15.92	2.62	17.11	2.76	17.75	2.83
8	19.03	14.94	68.89	37.18	15.49	1.90	21.31	2.66	22.94	2.80	23.80	2.87
10	23.31	18.30	82.19	42.68	18.79	1.88	26.77	2.69	28.85	2.84	29.95	2.91
4	11.14	8.74	52.79	28.33	10.28	2.18	13.07	2.87	13.92	3.00	14.37	3.07
5	13.75	10.79	64.42	33.78	12.65	2.16	16.35	2.88	17.43	3.02	18.00	3.09
2L70×6	16.32	12.81	75.54	38.78	14.95	2.15	19.64	2.90	20.95	3.04	21.64	3.11
7	18.85	14.80	86.17	43.37	17.19	2.14	22.94	2.92	24.49	3.06	25.31	3.13
8	21.33	16.75	96.34	47.58	19.37	2.13	26.26	2.94	28.05	3.08	29.00	3.15
5	14.82	11.64	79.91	39.45	14.60	2.32	18.76	3.08	19.91	3.22	20.52	3.29
6	17.59	13.81	93.81	45.37	17.27	2.31	22.54	3.10	23.93	3.24	24.67	3.31
2L75×7	20.32	15.95	107.14	50.83	19.87	2.30	26.32	3.12	27.97	3.26	28.84	3.33
8	23.01	18.06	119.93	55.87	22.40	2.28	30.13	3.13	32.03	3.27	33.03	3.35
10	28.25	22.18	143.97	64.80	27.28	2.26	37.79	3.17	40.22	3.31	41.49	3.38

面特性

表 17-1

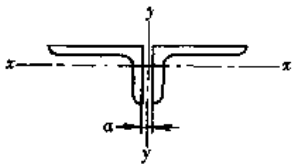
面特性													
$y-y$ 轴													
当 a (mm) 为													
8		10		12		14		16		18		20	
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1.28	1.17	1.42	1.25	1.57	1.34	1.72	1.43	1.88	1.52	2.04	1.62	2.20	1.71
1.73	1.19	1.91	1.28	2.10	1.37	2.30	1.46	2.51	1.55	2.72	1.65	2.94	1.74
1.82	1.36	1.98	1.44	2.15	1.53	2.33	1.61	2.52	1.70	2.71	1.79	2.91	1.88
2.44	1.38	2.66	1.47	2.89	1.55	3.13	1.64	3.38	1.73	3.63	1.82	3.89	1.91
2.46	1.55	2.65	1.63	2.84	1.71	3.05	1.80	3.26	1.88	3.49	1.97	3.71	2.06
3.30	1.57	3.55	1.65	3.82	1.74	4.09	1.82	4.38	1.91	4.67	2.00	4.97	2.09
3.35	1.78	3.56	1.86	3.79	1.94	4.02	2.03	4.27	2.11	4.52	2.20	4.78	2.28
4.49	1.80	4.78	1.89	5.08	1.97	5.39	2.05	5.72	2.14	6.05	2.22	6.40	2.31
5.64	1.83	6.01	1.91	6.39	1.99	6.78	2.08	7.19	2.16	7.61	2.25	8.04	2.34
4.02	1.94	4.26	2.01	4.50	2.09	4.76	2.18	5.02	2.26	5.29	2.34	5.57	2.43
5.39	1.96	5.70	2.04	6.03	2.12	6.37	2.20	6.72	2.29	7.09	2.37	7.46	2.46
6.77	1.98	7.17	2.06	7.58	2.14	8.01	2.23	8.45	2.31	8.90	2.40	9.37	2.49
4.95	2.14	5.21	2.21	5.47	2.29	5.75	2.37	6.04	2.45	6.33	2.54	6.64	2.62
6.63	2.16	6.97	2.24	7.33	2.32	7.70	2.40	8.09	2.48	8.48	2.56	8.89	2.65
8.32	2.18	8.76	2.26	9.21	2.34	9.67	2.42	10.15	2.50	10.65	2.59	11.16	2.67
10.04	2.20	10.56	2.28	11.10	2.36	11.66	2.44	12.24	2.53	12.84	2.61	13.45	2.70
5.98	2.33	6.26	2.41	6.55	2.48	6.85	2.56	7.16	2.64	7.48	2.73	7.81	2.81
8.01	2.36	8.38	2.43	8.77	2.51	9.17	2.59	9.58	2.67	10.01	2.75	10.45	2.84
10.05	2.38	10.52	2.45	11.00	2.53	11.51	2.61	12.03	2.70	12.56	2.78	13.11	2.86
12.10	2.40	12.67	2.48	13.26	2.56	13.87	2.64	14.50	2.72	15.14	2.80	15.80	2.89
7.35	2.57	7.66	2.64	7.97	2.72	8.30	2.80	8.64	2.88	8.98	2.96	9.34	3.04
9.83	2.59	10.24	2.67	10.66	2.74	11.10	2.82	11.55	2.90	12.02	2.98	12.49	3.06
12.33	2.61	12.84	2.69	13.38	2.77	13.93	2.85	14.49	2.93	15.08	3.01	15.67	3.09
19.94	2.67	20.78	2.75	21.65	2.83	22.55	2.91	23.46	3.00	24.41	3.08	25.37	3.16
12.21	2.87	12.66	2.94	13.12	3.02	13.60	3.09	14.10	3.17	14.61	3.25	15.13	3.33
15.30	2.89	15.86	2.96	16.45	3.04	17.05	3.12	17.67	3.20	18.31	3.28	18.97	3.36
18.41	2.91	19.09	2.98	19.80	3.06	20.53	3.14	21.28	3.22	22.05	3.30	22.83	3.38
24.70	2.95	25.62	3.03	26.58	3.10	27.56	3.18	28.57	3.26	29.60	3.35	30.65	3.43
31.09	2.99	32.26	3.07	33.46	3.15	34.70	3.23	35.97	3.31	37.27	3.39	38.59	3.48
14.85	3.14	15.34	3.21	15.84	3.29	16.36	3.36	16.90	3.44	17.45	3.52	18.02	3.60
18.60	3.16	19.21	3.24	19.85	3.31	20.50	3.39	21.18	3.47	21.87	3.54	22.58	3.62
22.36	3.18	23.11	3.26	23.88	3.33	24.67	3.41	25.48	3.49	26.32	3.57	27.17	3.65
26.16	3.20	27.03	3.28	27.94	3.36	28.86	3.43	29.82	3.51	30.79	3.59	31.79	3.67
29.97	3.22	30.98	3.30	32.02	3.38	33.09	3.46	34.18	3.54	35.30	3.62	36.45	3.70
21.15	3.36	21.81	3.43	22.48	3.50	23.17	3.58	23.89	3.66	24.62	3.73	25.36	3.81
25.43	3.38	26.22	3.45	27.04	3.53	27.87	3.60	28.73	3.68	29.61	3.76	30.51	3.84
29.74	3.40	30.67	3.47	31.62	3.55	32.60	3.63	33.61	3.71	34.64	3.78	35.69	3.86
34.07	3.42	35.13	3.50	36.23	3.57	37.36	3.65	38.52	3.73	39.70	3.81	40.91	3.89
42.81	3.46	44.16	3.54	45.55	3.61	46.97	3.69	48.43	3.77	49.92	3.85	51.44	3.93

角钢型号	截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	$x-x$ 轴				截					
			I_x (cm^4)	$W_{x\max}$ (cm^3)	$W_{x\min}$ (cm^3)	i_x (cm)	0		4		6	
							W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
5	15.82	12.42	97.58	45.39	16.68	2.48	21.34	3.28	22.56	3.42	23.20	3.49
6	18.79	14.75	114.70	52.33	19.75	2.47	25.63	3.30	27.10	3.44	27.88	3.51
2L80×7	21.72	17.05	131.16	58.75	22.74	2.46	29.93	3.32	31.67	3.46	32.59	3.53
8	24.61	19.32	146.99	64.71	25.66	2.44	34.24	3.34	36.25	3.48	37.31	3.55
10	30.25	23.75	176.86	75.36	31.29	2.42	42.93	3.37	45.50	3.51	46.84	3.58
6	21.27	16.70	165.54	67.97	25.22	2.79	32.41	3.70	34.06	3.84	34.92	3.91
7	24.60	19.31	189.66	76.57	29.07	2.78	37.84	3.72	39.78	3.86	40.79	3.93
2L90×8	27.89	21.89	212.94	84.60	32.85	2.76	43.29	3.74	45.52	3.88	46.69	3.95
10	34.33	26.95	257.16	99.14	40.14	2.74	54.24	3.77	57.08	3.91	58.57	3.98
12	40.61	31.88	298.44	111.86	47.13	2.71	65.28	3.80	68.75	3.95	70.56	4.02
6	23.86	18.73	229.89	86.07	31.37	3.10	40.01	4.09	41.82	4.23	42.77	4.30
7	27.59	21.66	263.71	97.14	36.20	3.09	46.71	4.11	48.84	4.25	49.95	4.32
8	31.28	24.55	296.49	107.55	40.93	3.08	53.42	4.13	55.87	4.27	57.16	4.34
2L100×10	38.52	30.24	359.03	126.58	50.12	3.05	66.90	4.17	70.02	4.31	71.65	4.38
12	45.60	35.80	417.70	143.44	58.95	3.03	80.47	4.20	84.28	4.34	86.26	4.41
14	52.51	41.22	473.05	158.38	67.45	3.00	94.15	4.23	98.66	4.38	101.00	4.45
16	59.25	46.51	525.05	171.63	75.65	2.98	107.96	4.27	113.16	4.41	115.89	4.49
7	30.39	23.86	354.32	119.55	44.09	3.41	56.48	4.52	58.80	4.65	60.01	4.72
8	34.48	27.06	398.92	132.71	49.90	3.40	64.58	4.54	67.25	4.67	68.65	4.74
2L110×10	42.52	33.38	484.37	156.97	61.20	3.38	80.84	4.57	84.24	4.71	86.00	4.78
12	50.40	39.56	565.10	178.69	72.10	3.35	97.20	4.61	101.34	4.75	103.48	4.82
14	58.11	45.62	641.42	198.15	82.62	3.32	113.67	4.64	118.56	4.78	121.10	4.85
8	39.50	31.01	594.05	176.40	65.05	3.88	83.36	5.14	86.36	5.27	87.92	5.34
2L125×10	48.75	38.27	723.35	209.61	79.94	3.85	104.31	5.17	108.12	5.31	110.09	5.38
12	57.82	45.39	846.32	239.75	94.35	3.83	125.35	5.21	129.98	5.34	132.38	5.41
14	66.73	52.39	963.30	267.11	108.31	3.80	146.50	5.24	151.98	5.38	154.82	5.45
10	54.75	42.98	1029.30	269.11	101.16	4.34	130.73	5.78	134.94	5.92	137.12	5.98
2L140×12	65.02	51.04	1207.36	309.24	119.59	4.31	157.04	5.81	162.16	5.95	164.81	6.02
14	75.13	58.98	1377.62	346.04	137.50	4.28	183.46	5.85	189.51	5.98	192.63	6.06
16	85.08	66.79	1540.48	379.80	154.92	4.26	210.01	5.88	217.01	6.02	220.62	6.09
10	63.00	49.46	1559.06	361.54	133.39	4.97	170.67	6.58	175.42	6.72	177.87	6.78
2L160×12	74.88	58.78	1833.17	417.17	157.95	4.95	204.95	6.62	210.73	6.75	213.70	6.82
14	86.59	67.97	2096.72	468.73	181.90	4.92	239.33	6.65	246.10	6.79	249.67	6.86
16	98.13	77.04	2350.16	516.54	205.25	4.89	273.85	6.68	281.74	6.82	285.79	6.89
12	84.48	66.32	2642.71	540.06	201.63	5.59	259.20	7.43	265.62	7.56	268.92	7.63
2L180×14	97.79	76.77	3028.96	609.14	232.51	5.57	302.61	7.46	310.19	7.60	314.07	7.67
16	110.93	87.08	3401.97	673.72	262.69	5.54	346.14	7.49	354.90	7.63	359.38	7.70
18	123.91	97.27	3762.25	734.09	292.21	5.51	389.82	7.53	399.77	7.66	404.86	7.73
14	109.28	85.79	4207.09	770.15	289.40	6.20	373.41	8.27	381.75	8.40	386.02	8.47
16	124.03	97.36	4732.29	853.99	327.30	6.18	427.04	8.30	436.67	8.43	441.59	8.50
2L200×18	138.60	108.80	5241.27	932.90	364.44	6.15	480.81	8.33	491.75	8.47	497.34	8.53
20	153.01	120.11	5734.59	1007.17	400.85	6.12	534.75	8.36	547.01	8.50	553.28	8.57
24	181.32	142.34	6676.40	1142.89	471.55	6.07	643.20	8.42	658.16	8.56	665.80	8.63

续表

面 特 性													
$y-y$ 轴													
当 a (mm) 为													
8		10		12		14		16		18		20	
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
23.86	3.56	24.55	3.63	25.26	3.71	25.99	3.78	26.74	3.86	27.50	3.93	28.29	4.01
28.69	3.58	29.52	3.65	30.37	3.73	31.25	3.80	32.15	3.88	33.08	3.96	34.02	4.04
33.53	3.60	34.51	3.67	35.51	3.75	36.54	3.83	37.60	3.90	38.68	3.98	39.79	4.06
38.40	3.62	39.53	3.70	40.68	3.77	41.87	3.85	43.08	3.93	44.32	4.00	45.59	4.08
48.23	3.66	49.65	3.74	51.11	3.81	52.61	3.89	54.14	3.97	55.70	4.05	57.30	4.13
35.81	3.98	36.72	4.05	37.66	4.12	38.63	4.20	39.62	4.27	40.63	4.35	41.66	4.43
41.84	4.00	42.91	4.07	44.02	4.14	45.15	4.22	46.31	4.30	47.50	4.37	48.71	4.45
47.90	4.02	49.13	4.09	50.40	4.17	51.71	4.24	53.04	4.32	54.40	4.39	55.79	4.47
60.09	4.06	61.66	4.13	63.27	4.21	64.91	4.28	66.59	4.36	68.31	4.44	70.06	4.52
72.42	4.09	74.32	4.17	76.27	4.25	78.26	4.32	80.30	4.40	82.37	4.48	84.49	4.56
43.75	4.37	44.75	4.44	45.78	4.51	46.83	4.58	47.91	4.66	49.01	4.73	50.14	4.81
51.10	4.39	52.27	4.46	53.48	4.53	54.72	4.61	55.98	4.68	57.27	4.76	58.59	4.83
58.48	4.41	59.83	4.48	61.22	4.55	62.64	4.63	64.09	4.70	65.57	4.78	67.08	4.86
73.32	4.45	75.03	4.52	76.79	4.60	78.58	4.67	80.41	4.75	82.28	4.83	84.18	4.90
88.29	4.49	90.37	4.56	92.50	4.64	94.67	4.71	96.89	4.79	99.15	4.87	101.45	4.95
103.40	4.53	105.85	4.60	108.36	4.68	110.92	4.75	113.52	4.83	116.18	4.91	118.88	4.99
118.66	4.56	121.49	4.64	124.38	4.72	127.33	4.80	130.33	4.87	133.38	4.95	136.49	5.03
61.25	4.79	62.52	4.86	63.82	4.94	65.15	5.01	66.51	5.08	67.90	5.16	69.32	5.23
70.07	4.81	71.54	4.88	73.03	4.96	74.56	5.03	76.13	5.10	77.72	5.18	79.35	5.26
87.81	4.85	89.66	4.92	91.56	5.00	93.49	5.07	95.46	5.15	97.47	5.22	99.52	5.30
105.68	4.89	107.93	4.96	110.22	5.04	112.57	5.11	114.96	5.19	117.39	5.26	119.87	5.34
123.69	4.93	126.34	5.00	129.05	5.08	131.81	5.15	134.62	5.23	137.48	5.31	140.39	5.38
89.52	5.41	91.15	5.48	92.81	5.55	94.52	5.62	96.25	5.69	98.02	5.77	99.82	5.84
112.11	5.45	114.17	5.52	116.28	5.59	118.43	5.66	120.62	5.74	122.85	5.81	125.11	5.89
134.84	5.48	137.34	5.56	139.89	5.63	142.49	5.70	145.15	5.78	147.84	5.85	150.58	5.93
157.71	5.52	160.66	5.59	163.67	5.67	166.73	5.74	169.85	5.82	173.02	5.89	176.24	5.97
139.34	6.05	141.61	6.12	143.92	6.20	146.27	6.27	148.67	6.34	151.11	6.41	153.58	6.49
167.50	6.09	170.25	6.16	173.06	6.23	175.91	6.31	178.81	6.38	181.76	6.45	184.75	6.53
195.82	6.13	199.06	6.20	202.36	6.27	205.72	6.34	209.13	6.42	212.60	6.49	216.12	6.57
224.29	6.16	228.03	6.23	231.84	6.31	235.71	6.38	239.64	6.46	243.64	6.53	247.69	6.61
180.37	6.85	182.91	6.92	185.50	6.99	188.14	7.06	190.81	7.13	193.53	7.21	196.30	7.28
216.73	6.89	219.81	6.96	222.95	7.03	226.14	7.10	229.38	7.17	232.67	7.25	236.01	7.32
253.24	6.93	256.87	7.00	260.56	7.07	264.32	7.14	268.13	7.21	271.99	7.29	275.92	7.36
289.91	6.96	294.10	7.03	298.36	7.10	302.68	7.18	307.07	7.25	311.53	7.32	316.04	7.40
272.27	7.70	275.68	7.77	279.14	7.84	282.66	7.91	286.23	7.98	289.85	8.05	293.52	8.12
318.02	7.74	322.04	7.81	326.11	7.88	330.25	7.95	334.45	8.02	338.70	8.09	343.02	8.16
363.94	7.77	368.57	7.84	373.27	7.91	378.03	7.98	382.86	8.06	387.76	8.13	392.73	8.20
410.04	7.80	415.29	7.87	420.62	7.95	426.02	8.02	431.50	8.09	437.05	8.16	442.68	8.24
390.36	8.54	394.76	8.61	399.22	8.67	403.75	8.75	408.33	8.82	412.98	8.89	417.69	8.96
446.59	8.57	451.66	8.64	456.80	8.71	462.02	8.78	467.30	8.85	472.65	8.92	478.07	9.00
503.01	8.60	508.76	8.67	514.59	8.75	520.50	8.82	526.48	8.89	532.54	8.96	538.68	9.03
559.63	8.64	566.07	8.71	572.60	8.78	579.21	8.85	585.91	8.92	592.64	9.00	599.54	9.07
673.55	8.71	681.39	8.78	689.34	8.85	697.38	8.92	705.52	9.00	713.75	9.07	722.08	9.14

(2)两个热轧不等边角钢(两短边相连)的组合截面特性



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

角钢型号	截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	$x-x$ 轴				截					
			I_x (cm^4)	W_{xmax} (cm^3)	W_{xmin} (cm^3)	i_x (cm)	0		4		6	
							W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
2L25×16×3	2.32	1.82	0.44	1.06	0.38	0.44	1.25	1.16	1.49	1.32	1.62	1.40
2L25×16×4	3.00	2.35	0.55	1.20	0.48	0.43	1.67	1.18	1.99	1.34	2.17	1.42
2L32×20×3	2.98	2.34	0.92	1.86	0.61	0.55	2.05	1.48	2.34	1.63	2.50	1.71
2L32×20×4	3.88	3.04	1.14	2.16	0.78	0.54	2.73	1.50	3.13	1.66	3.34	1.74
2L40×25×3	3.78	2.97	1.87	3.18	0.98	0.70	3.20	1.84	3.56	1.99	3.75	2.07
2L40×25×4	4.93	3.87	2.36	3.77	1.26	0.69	4.26	1.86	4.75	2.01	5.01	2.09
2L45×28×3	4.30	3.37	2.68	4.17	1.24	0.79	4.05	2.06	4.45	2.21	4.66	2.28
2L45×28×4	5.61	4.41	3.39	4.98	1.60	0.78	5.40	2.08	5.94	2.23	6.23	2.31
2L50×32×3	4.86	3.82	4.05	5.57	1.64	0.91	4.99	2.27	5.44	2.41	5.68	2.49
2L50×32×4	6.35	4.99	5.16	6.72	2.12	0.90	6.66	2.29	7.26	2.44	7.58	2.51
2L56×36×3	5.49	4.31	5.85	7.27	2.09	1.03	6.26	2.53	6.76	2.67	7.02	2.75
2L56×36×4	7.18	5.64	7.48	8.85	2.72	1.02	8.35	2.55	9.02	2.70	9.37	2.77
2L56×36×5	8.83	6.93	8.99	10.17	3.31	1.01	10.44	2.57	11.28	2.72	11.72	2.80
2L63×40×4	8.12	6.37	10.47	11.44	3.39	1.14	10.57	2.86	11.31	3.01	11.70	3.09
2L63×40×5	9.99	7.84	12.62	13.21	4.14	1.12	13.22	2.89	14.15	3.03	14.64	3.11
2L63×40×6	11.82	9.28	14.62	14.72	4.86	1.11	15.87	2.91	16.99	3.06	17.59	3.13
2L63×40×7	13.60	10.68	16.49	16.00	5.55	1.10	18.52	2.93	19.84	3.08	20.54	3.16
2L70×45×4	9.11	7.15	15.10	14.86	4.34	1.29	13.05	3.17	13.87	3.31	14.30	3.39
2L70×45×5	11.22	8.81	18.27	17.29	5.30	1.28	16.31	3.19	17.34	3.34	17.88	3.41
2L70×45×6	13.29	10.43	21.23	19.69	6.24	1.26	19.58	3.21	20.83	3.36	21.48	3.44
2L70×45×7	15.31	12.02	24.02	21.20	7.13	1.25	22.85	3.23	24.32	3.38	25.08	3.46
2L75×50×5	12.25	9.62	25.23	21.50	6.59	1.43	18.73	3.39	19.83	3.53	20.41	3.60
2L75×50×6	14.52	11.40	29.40	24.25	7.76	1.42	22.48	3.41	23.81	3.55	24.51	3.63
2L75×50×8	18.93	14.86	37.06	28.78	9.98	1.40	30.00	3.45	31.80	3.60	32.73	3.67
2L75×50×10	23.18	18.20	43.93	32.28	12.07	1.38	37.55	3.49	39.82	3.64	41.00	3.71

（按 GB/T 9788—1988 计算）

表 17-2

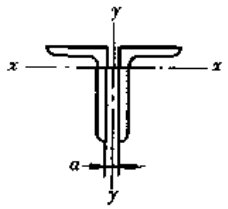
面特性													
$y-y$ 轴													
当 a（mm）为													
8		10		12		14		16		18		20	
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1.76	1.48	1.90	1.57	2.05	1.66	2.21	1.74	2.37	1.83	2.53	1.93	2.70	2.02
2.35	1.51	2.54	1.60	2.74	1.68	2.95	1.77	3.16	1.86	3.37	1.96	3.59	2.05
2.67	1.79	2.84	1.88	3.03	1.96	3.21	2.05	3.41	2.14	3.60	2.23	3.81	2.32
3.57	1.82	3.80	1.90	4.04	1.99	4.29	2.08	4.55	2.17	4.81	2.25	5.08	2.34
3.95	2.14	4.16	2.23	4.38	2.31	4.60	2.39	4.84	2.48	5.07	2.56	5.32	2.65
5.28	2.17	5.56	2.25	5.85	2.34	6.15	2.42	6.46	2.51	6.77	2.59	7.09	2.68
4.89	2.36	5.12	2.44	5.36	2.52	5.61	2.60	5.86	2.69	6.12	2.77	6.39	2.86
6.53	2.39	6.84	2.47	7.16	2.55	7.49	2.63	7.83	2.72	8.17	2.80	8.53	2.89
5.92	2.56	6.18	2.64	6.44	2.72	6.71	2.81	6.99	2.89	7.28	2.97	7.57	3.06
7.91	2.59	8.25	2.67	8.60	2.75	8.96	2.84	9.33	2.92	9.71	3.00	10.10	3.09
7.29	2.82	7.57	2.90	7.86	2.98	8.16	3.06	8.47	3.14	8.78	3.23	9.10	3.31
9.73	2.85	10.11	2.93	10.50	3.01	10.89	3.09	11.30	3.17	11.72	3.26	12.14	3.34
12.18	2.88	12.65	2.96	13.14	3.04	13.63	3.12	14.14	3.20	14.66	3.29	15.19	3.37
12.11	3.16	12.52	3.24	12.95	3.32	13.39	3.40	13.83	3.48	14.29	3.56	14.76	3.64
15.15	3.19	15.67	3.27	16.20	3.35	16.75	3.43	17.31	3.51	17.88	3.59	18.47	3.67
18.20	3.21	18.82	3.29	19.46	3.37	20.12	3.45	20.80	3.53	21.48	3.62	22.18	3.70
21.25	3.24	21.99	3.32	22.74	3.40	23.50	3.48	24.29	3.56	25.09	3.64	25.91	3.73
14.74	3.46	15.20	3.54	15.66	3.62	16.14	3.69	16.63	3.77	17.13	3.86	17.64	3.94
18.41	3.49	19.01	3.57	19.60	3.64	20.19	3.72	20.81	3.80	21.43	3.89	22.07	3.97
22.15	3.51	22.83	3.59	23.54	3.67	24.26	3.75	24.99	3.83	25.74	3.91	26.51	4.00
25.86	3.54	26.67	3.61	27.49	3.69	28.33	3.77	29.19	3.86	30.07	3.94	30.96	4.02
21.00	3.68	21.61	3.76	22.23	3.83	22.87	3.91	23.52	3.99	24.19	4.07	24.87	4.15
25.22	3.70	25.95	3.78	26.71	3.86	27.47	3.94	28.26	4.02	29.06	4.10	29.88	4.18
33.70	3.75	34.68	3.83	35.69	3.91	36.72	3.99	37.76	4.07	38.83	4.15	39.92	4.23
42.21	3.79	43.45	3.87	44.71	3.95	46.00	4.03	47.32	4.12	48.66	4.20	50.02	4.28

角钢型号		截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	$x-x$ 轴				截					
								0		4		6	
				I_x (cm^4)	W_{xmax} (cm^3)	W_{xmin} (cm^3)	i_x (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
2L80×50×	5	12.75	10.01	25.65	22.56	6.64	1.42	21.30	3.66	22.46	3.80	23.07	3.88
	6	15.12	11.87	29.90	25.42	7.82	1.41	25.56	3.68	26.97	3.82	27.70	3.90
	7	17.45	13.70	33.91	27.92	8.96	1.39	29.83	3.70	31.48	3.85	32.34	3.92
	8	19.73	15.49	37.71	30.12	10.06	1.38	34.10	3.72	36.00	3.87	36.98	3.94
2L90×56×	5	14.42	11.32	36.65	29.41	8.42	1.59	26.96	4.10	28.26	4.25	28.93	4.32
	6	17.11	13.43	42.84	33.30	9.93	1.58	32.35	4.12	33.92	4.27	34.73	4.34
	7	19.76	15.51	48.71	36.76	11.39	1.57	37.75	4.15	39.59	4.29	40.54	4.37
	8	22.37	17.56	54.30	39.83	12.82	1.56	43.15	4.17	45.26	4.31	46.36	4.39
2L100×63×	6	19.23	15.10	61.87	43.38	12.70	1.79	39.94	4.56	41.67	4.70	42.57	4.77
	7	22.22	17.44	70.52	48.11	14.59	1.78	46.60	4.58	48.63	4.72	49.68	4.80
	8	25.17	19.76	78.79	52.37	16.43	1.77	53.26	4.60	55.60	4.75	56.80	4.82
	10	30.93	24.28	94.25	59.65	19.97	1.75	66.61	4.64	69.56	4.79	71.08	4.86
2L100×80×	6	21.27	16.70	122.49	62.06	20.33	2.40	39.97	4.33	41.73	4.47	42.65	4.54
	7	24.60	19.31	140.15	69.58	23.41	2.39	46.64	4.35	48.71	4.49	49.79	4.57
	8	27.89	21.89	157.15	76.54	26.43	2.37	53.32	4.37	55.71	4.51	56.95	4.59
	10	34.33	26.95	189.30	88.91	32.24	2.35	66.73	4.41	69.75	4.55	71.32	4.63
2L110×70×	6	21.27	16.70	85.83	54.72	15.80	2.01	48.32	5.00	50.22	5.14	51.20	5.21
	7	24.60	19.31	98.04	60.96	18.18	2.00	56.38	5.02	58.60	5.16	59.74	5.24
	8	27.89	21.89	109.74	66.63	20.50	1.98	64.43	5.04	66.99	5.19	68.30	5.26
	10	34.33	26.95	131.76	76.48	24.97	1.96	80.57	5.08	83.79	5.23	85.44	5.30
2L125×80×	7	28.19	22.13	148.84	82.48	24.02	2.30	72.80	5.68	75.30	5.82	76.59	5.90
	8	31.98	25.10	166.98	90.56	27.12	2.29	83.20	5.70	86.07	5.85	87.55	5.92
	10	39.42	30.95	201.34	104.82	33.12	2.26	104.01	5.74	107.64	5.89	109.51	5.96
	12	46.70	36.66	233.34	116.92	38.16	2.24	124.86	5.78	129.25	5.93	131.50	6.00
2L140×90×	8	36.08	28.32	241.38	118.30	34.68	2.59	104.36	6.36	107.56	6.51	109.21	6.58
	10	44.52	34.95	292.06	137.87	42.44	2.56	130.46	6.40	134.49	6.55	136.56	6.62
	12	52.80	41.45	339.58	154.77	49.90	2.54	156.58	6.44	161.47	6.59	163.97	6.66
	14	60.91	47.82	384.20	169.37	57.07	2.51	182.75	6.48	188.49	6.63	191.42	6.70
2L160×100×	10	50.63	39.74	410.06	179.88	53.11	2.85	170.36	7.34	174.93	7.48	177.26	7.55
	12	60.11	47.18	478.13	202.91	62.55	2.82	204.45	7.38	209.97	7.52	212.79	7.60
	14	69.42	54.49	542.41	223.07	71.67	2.80	238.56	7.42	245.05	7.56	248.35	7.64
	16	78.56	61.67	603.20	240.73	80.49	2.77	272.72	7.45	280.18	7.60	283.98	7.68
2L180×110×	10	56.75	44.55	556.21	227.83	64.99	3.13	215.60	8.27	220.70	8.41	223.30	8.49
	12	67.42	52.93	650.06	258.06	76.65	3.11	258.71	8.31	264.87	8.46	268.01	8.53
	14	77.93	61.18	739.10	284.82	87.94	3.08	301.84	8.35	309.07	8.50	312.76	8.57
	16	88.28	69.30	823.69	308.52	98.88	3.05	345.02	8.39	353.32	8.53	357.56	8.61
2L200×125×	12	75.82	59.52	966.32	340.92	99.98	3.57	319.38	9.18	326.20	9.32	329.66	9.39
	14	87.73	68.87	1101.65	378.49	114.88	3.54	372.62	9.22	380.61	9.36	384.66	9.43
	16	99.48	78.09	1230.88	412.24	129.37	3.52	425.89	9.25	435.07	9.40	439.74	9.47
	18	111.05	87.18	1354.37	442.59	143.47	3.49	479.20	9.29	489.59	9.44	494.87	9.51

续表

面特性													
$y-y$ 轴													
当 a (mm) 为													
8		10		12		14		16		18		20	
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
23.69	3.95	24.33	4.03	24.98	4.10	25.65	4.18	26.33	4.26	27.03	4.34	27.73	4.42
28.45	3.98	29.22	4.05	30.00	4.13	30.80	4.21	31.62	4.29	32.46	4.37	33.30	4.45
33.21	4.00	34.11	4.08	35.03	4.16	35.97	4.23	36.92	4.32	37.90	4.40	38.89	4.48
37.99	4.02	39.02	4.10	40.07	4.18	41.14	4.26	42.24	4.34	43.35	4.42	44.48	4.50
29.63	4.39	30.33	4.47	31.05	4.55	31.79	4.62	32.54	4.70	33.31	4.78	34.09	4.86
35.57	4.42	36.42	4.50	37.29	4.57	38.17	4.65	39.08	4.73	40.00	4.81	40.93	4.89
41.52	4.44	42.51	4.52	43.53	4.60	44.57	4.68	45.62	4.76	46.69	4.84	47.79	4.92
47.47	4.47	48.62	4.54	49.78	4.62	50.97	4.70	52.18	4.78	53.41	4.86	54.66	4.94
43.49	4.85	44.42	4.92	45.38	5.00	46.35	5.08	47.34	5.16	48.35	5.23	49.37	5.31
50.76	4.87	51.85	4.95	52.97	5.03	54.11	5.10	55.26	5.18	56.44	5.26	57.64	5.34
58.04	4.90	59.29	4.97	60.57	5.05	61.87	5.13	63.20	5.21	64.55	5.29	65.92	5.37
72.63	4.94	74.21	5.02	75.81	5.10	77.45	5.18	79.11	5.26	80.80	5.34	82.52	5.42
54.59	4.62	44.55	4.69	45.54	4.76	46.55	4.84	47.58	4.91	48.62	4.99	49.69	5.07
50.90	4.64	52.03	4.71	53.18	4.79	54.36	4.86	55.56	4.94	56.79	5.02	58.04	5.09
58.22	4.66	59.52	4.73	60.84	4.81	62.20	4.88	63.58	4.96	64.98	5.04	66.41	5.12
72.92	4.70	74.56	4.78	76.23	4.85	77.93	4.93	79.67	5.01	81.44	5.08	83.24	5.16
52.19	5.29	53.21	5.36	54.25	5.44	55.31	5.51	56.38	5.59	57.47	5.67	58.58	5.75
60.91	5.31	62.10	5.39	63.32	5.46	64.55	5.54	65.81	5.62	67.09	5.70	68.38	5.78
69.64	5.34	71.01	5.41	72.40	5.49	73.81	5.56	75.25	5.64	76.71	5.72	78.20	5.80
87.13	5.38	88.85	5.46	90.60	5.53	92.38	5.61	94.18	5.69	96.02	5.77	97.88	5.85
77.91	5.97	79.24	6.04	80.60	6.12	81.98	6.20	83.39	6.27	84.81	6.35	86.26	6.43
89.06	5.99	90.59	6.07	92.15	6.14	93.73	6.22	95.34	6.30	96.97	6.37	98.63	6.45
111.40	6.04	113.33	6.11	115.29	6.19	117.28	6.27	119.29	6.34	121.34	6.42	123.42	6.50
133.79	6.08	136.12	6.16	138.48	6.23	140.88	6.31	143.31	6.39	145.78	6.47	148.27	6.55
110.88	6.65	112.57	6.73	114.30	6.80	116.05	6.88	117.82	6.95	119.62	7.03	121.44	7.11
138.67	6.70	140.80	6.77	142.97	6.85	145.16	6.92	147.39	7.00	149.65	7.08	151.94	7.15
166.50	6.74	169.08	6.81	171.70	6.89	174.35	6.97	177.03	7.04	179.75	7.12	182.51	7.20
194.40	6.78	197.42	6.86	200.49	6.93	203.59	7.01	206.74	7.09	209.93	7.17	213.15	7.25
179.63	7.63	182.03	7.70	184.47	7.78	186.93	7.85	189.43	7.93	191.95	8.00	194.51	8.08
215.64	7.67	218.54	7.75	221.48	7.82	224.45	7.90	227.46	7.97	230.50	8.05	233.58	8.13
251.71	7.71	255.11	7.79	258.54	7.86	262.03	7.94	265.55	8.02	269.11	8.09	272.72	8.17
287.83	7.75	291.73	7.83	295.68	7.90	299.67	7.98	303.72	8.06	307.80	8.14	311.93	8.22
225.94	8.56	228.61	8.63	231.31	8.71	234.01	8.78	236.80	8.36	239.59	8.93	242.42	9.01
271.19	8.60	274.40	8.68	277.66	8.75	280.95	8.83	284.28	8.90	287.65	8.98	291.05	9.06
316.48	8.64	320.26	8.72	324.07	8.79	327.93	8.87	331.83	8.95	335.77	9.02	339.75	9.10
361.84	8.68	366.17	8.76	370.54	8.84	374.97	8.91	379.44	8.99	383.96	9.07	388.53	9.14
333.17	9.47	336.72	9.54	340.31	9.62	343.93	9.69	347.60	9.76	351.30	9.84	355.03	9.92
388.79	9.51	392.95	9.58	397.15	9.66	401.40	9.73	405.69	9.81	410.03	9.88	414.41	9.96
444.47	9.55	449.24	9.62	454.07	9.70	458.94	9.77	463.87	9.85	468.84	9.92	473.86	10.00
500.21	9.59	505.60	9.66	511.05	9.74	516.56	9.81	522.12	9.89	527.73	9.97	533.39	10.04

(3)两个热轧不等边角钢(两长边相连)的组合截面特性



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

角钢型号	截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截									
			$x-x$ 轴									
			I_x (cm^4)	W_{xmax} (cm^3)	W_{xmin} (cm^3)	i_x (cm)	0		4		6	
							W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
2L25×16×3	2.32	1.82	1.41	1.64	0.86	0.78	0.53	0.61	0.74	0.76	0.87	0.84
2L25×16×4	3.00	2.35	1.76	1.96	1.10	0.77	0.73	0.63	1.02	0.78	1.19	0.87
2L32×20×3	2.98	2.34	3.05	2.82	1.44	1.01	0.82	0.74	1.07	0.89	1.21	0.97
2L32×20×4	3.88	3.04	3.86	3.44	1.86	1.00	1.12	0.76	1.46	0.91	1.66	0.99
2L40×25×3	3.78	2.97	6.15	4.64	2.30	1.28	1.27	0.92	1.56	1.06	1.73	1.13
2L40×25×4	4.93	3.87	7.85	5.75	2.98	1.26	1.72	0.93	2.12	1.08	2.35	1.16
2L45×28×3	4.30	3.37	8.90	6.05	2.94	1.44	1.59	1.02	1.91	1.15	2.10	1.23
2L45×28×4	5.61	4.41	11.40	7.52	3.82	1.43	2.14	1.03	2.58	1.18	2.84	1.25
2L50×32×3	4.86	3.82	12.48	7.78	3.67	1.60	2.07	1.17	2.42	1.30	2.62	1.37
2L50×32×4	6.35	4.99	16.03	9.73	4.78	1.59	2.78	1.18	3.26	1.32	3.54	1.40
2L56×36×3	5.49	4.31	17.76	10.00	4.65	1.80	2.61	1.31	3.00	1.44	3.22	1.51
2L56×36×4	7.18	5.64	22.90	12.55	6.06	1.79	3.50	1.33	4.03	1.46	4.33	1.53
2L56×36×5	8.83	6.93	27.73	14.86	7.43	1.77	4.41	1.34	5.10	1.48	5.48	1.56
2L63×40×4	8.12	6.37	32.98	16.20	7.73	2.02	4.32	1.46	4.90	1.59	5.22	1.66
2L63×40×5	9.99	7.84	40.03	19.24	9.49	2.00	5.43	1.47	6.17	1.61	6.59	1.68
2L63×40×6	11.82	9.28	46.72	22.01	11.18	1.99	6.57	1.49	7.48	1.63	7.99	1.71
2L63×40×7	13.60	10.68	53.06	24.53	12.82	1.97	7.73	1.51	8.83	1.65	9.43	1.73
2L70×45×4	9.11	7.15	45.93	20.57	9.64	2.25	5.45	1.64	6.08	1.77	6.43	1.84
2L70×45×5	11.22	8.81	55.90	24.52	11.84	2.23	6.84	1.66	7.66	1.79	8.11	1.86
2L70×45×6	13.29	10.43	65.40	28.16	13.98	2.22	8.26	1.67	9.26	1.81	9.81	1.88
2L70×45×7	15.31	12.02	74.45	31.50	16.06	2.20	9.71	1.69	10.90	1.83	11.56	1.90
2L75×50×5	12.25	9.62	70.19	29.31	13.75	2.39	8.42	1.85	9.29	1.99	9.78	2.06
2L75×50×6	14.52	11.40	82.24	33.72	16.25	2.38	10.15	1.87	11.22	2.00	11.81	2.08
2L75×50×8	18.93	14.86	104.79	41.59	21.04	2.35	13.69	1.90	15.19	2.04	16.00	2.12
2L75×50×10	23.18	18.20	125.41	48.31	25.57	2.33	17.37	1.94	19.31	2.08	20.35	2.16

（按 GB/T 9788—1988 计算）

表 17-3

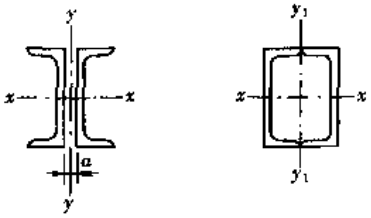
面特性													
$y-y$ 轴													
当 a（mm）为													
8		10		12		14		16		18		20	
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1.00	0.93	1.15	1.02	1.30	1.11	1.46	1.20	1.63	1.30	1.80	1.39	1.98	1.49
1.38	0.96	1.57	1.05	1.77	1.14	1.98	1.23	2.20	1.33	2.43	1.42	2.66	1.52
1.37	1.05	1.54	1.14	1.72	1.23	1.91	1.32	2.11	1.41	2.31	1.50	2.52	1.59
1.87	1.08	2.10	1.16	2.34	1.25	2.60	1.34	2.86	1.44	3.13	1.53	3.41	1.62
1.92	1.21	2.11	1.30	2.32	1.38	2.54	1.47	2.77	1.56	3.01	1.65	3.26	1.74
2.60	1.24	2.87	1.32	3.15	1.41	3.45	1.50	3.75	1.58	4.07	1.68	4.40	1.77
2.30	1.31	2.51	1.39	2.74	1.47	2.98	1.56	3.23	1.64	3.49	1.73	3.76	1.82
3.11	1.33	3.40	1.41	3.71	1.50	4.03	1.59	4.36	1.67	4.71	1.76	5.07	1.85
2.84	1.45	3.07	1.53	3.32	1.61	3.58	1.69	3.85	1.78	4.13	1.87	4.42	1.95
3.84	1.47	4.15	1.55	4.48	1.64	4.83	1.72	5.19	1.81	5.56	1.89	5.95	1.98
3.45	1.59	3.70	1.66	3.97	1.74	4.25	1.83	4.54	1.91	4.84	1.99	5.16	2.08
4.65	1.61	4.99	1.69	5.35	1.77	5.74	1.85	6.12	1.94	6.52	2.02	6.94	2.11
5.89	1.63	6.32	1.71	6.77	1.79	7.24	1.88	7.73	1.96	8.24	2.05	8.77	2.14
5.57	1.74	5.94	1.81	6.33	1.89	6.73	1.97	7.16	2.06	7.59	2.14	8.05	2.23
7.03	1.76	7.50	1.84	7.99	1.92	8.50	2.00	9.04	2.08	9.59	2.17	10.16	2.25
8.53	1.78	9.10	1.86	9.70	1.94	10.32	2.03	10.96	2.11	11.62	2.20	12.31	2.28
10.07	1.81	10.74	1.89	11.45	1.97	12.17	2.05	12.93	2.14	13.71	2.22	14.51	2.31
6.81	1.91	7.21	1.99	7.63	2.07	8.06	2.15	8.52	2.23	8.99	2.31	9.48	2.39
8.58	1.94	9.09	2.01	9.62	2.09	10.17	2.17	10.74	2.25	11.34	2.34	11.95	2.42
10.40	1.96	11.01	2.04	11.65	2.11	12.32	2.20	13.01	2.28	13.73	2.36	14.47	2.45
12.25	1.98	12.97	2.06	13.73	2.14	14.51	2.22	15.33	2.30	16.17	2.39	17.04	2.47
10.29	2.13	10.82	2.20	11.38	2.28	11.97	2.36	12.57	2.44	13.20	2.52	13.85	2.60
12.43	2.15	13.09	2.23	13.77	2.30	14.47	2.38	15.21	2.46	15.96	2.55	16.74	2.63
16.85	2.19	17.74	2.27	18.67	2.35	19.63	2.43	20.62	2.51	21.64	2.60	22.69	2.68
21.44	2.24	22.58	2.31	23.76	2.40	24.98	2.48	26.23	2.56	27.53	2.65	28.85	2.73

角钢型号		截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	$x-x$ 轴				截					
								0		4		6	
				I_x (cm^4)	$W_{x\max}$ (cm^3)	$W_{x\min}$ (cm^3)	i_x (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
2L80×50×	5	12.75	10.01	83.91	32.22	15.55	2.57	8.43	1.82	9.31	1.95	9.81	2.02
	6	15.12	11.87	98.42	37.16	18.39	2.55	10.16	1.83	11.26	1.97	11.86	2.04
	7	17.45	13.70	112.33	41.75	21.16	2.54	11 93	1.85	13.23	1.99	13.95	2.06
	8	19.73	15.49	125.65	46.01	23.85	2.52	13.73	1.86	15.25	2.00	16.08	2.08
2L90×56×	5	14.42	11.32	120.89	41.61	19.84	2.90	10.55	2.02	11.52	2.15	12.06	2.22
	6	17.11	13.43	142.06	48.13	23.49	2.88	12.71	2.04	13.90	2.17	14.56	2.24
	7	19.76	15.51	162.44	54.23	27.05	2.87	14.90	2.05	16.32	2.19	17.10	2.26
	8	22.37	17.56	182.06	59.95	30.53	2.85	17.12	2.07	18.79	2.21	19.69	2.28
2L100×63×	6	19.23	15.10	198.12	61.24	29.29	3.21	16.03	2.29	17.35	2.42	18.06	2.49
	7	22.22	17.44	226.91	69.18	33.77	3.20	18.77	2.31	20.34	2.44	21.18	2.51
	8	25.17	19.76	254.73	76.66	38.15	3.18	21.55	2.32	23.37	2.46	24.35	2.53
	10	30.93	24.28	307.62	90.36	46.64	3.15	27.22	2.35	29.58	2.49	30.84	2.57
2L100×80×	6	21.27	16.70	214.07	72.48	30.38	3.17	25.67	3.11	27.20	3.24	28.01	3.31
	7	24.60	19.31	245.46	81.91	35.05	3.16	29.99	3.12	31.80	3.26	32.76	3.32
	8	27.89	21.89	275.85	90.80	39.62	3.15	34.34	3.14	36.43	3.27	37.54	3.34
	10	34.33	26.95	333.74	107.08	48.49	3.12	43.12	3.17	45.80	3.31	47.22	3.38
2L110×70×	6	21.27	16.70	266.84	75.61	35.70	3.54	19.74	2.55	21.16	2.68	21.93	2.74
	7	24.60	19.31	306.01	85.64	41.20	3.53	23.10	2.56	24.79	2.69	25.70	2.76
	8	27.89	21.89	344.08	95.15	46.60	3.51	26.48	2.58	28.46	2.71	29.52	2.78
	10	34.33	26.95	416.78	112.71	57.08	3.48	33.38	2.61	35.93	2.74	37.29	2.82
2L125×80×	7	28.19	22.13	455.96	113.62	53.72	4.02	30.08	2.92	31.96	3.05	32.98	3.13
	8	31.98	25.10	513.53	126.57	60.83	4.01	34.46	2.94	36.66	3.07	37.83	3.13
	10	39.42	30.95	624.09	150.70	74.66	3.98	43.35	2.97	46.18	3.10	47.68	3.17
	12	46.70	36.66	728.82	172.68	88.03	3.95	52.42	3.00	55.91	3.13	57.77	3.20
2L140×90×	8	36.08	28.32	731.27	162.59	76.96	4.50	43.51	3.29	45.92	3.42	47.20	3.49
	10	44.52	34.95	891.00	194.39	94.62	4.47	54.65	3.32	57.76	3.45	59.40	3.52
	12	52.80	41.45	1043.18	223.63	111.75	4.44	65.97	3.35	69.81	3.49	71.83	3.56
	14	60.91	47.82	1188.20	250.51	128.36	4.42	77.52	3.38	82.10	3.52	84.52	3.59
2L160×100×	10	50.63	39.74	1337.37	255.39	124.25	5.14	67.32	3.65	70.72	3.77	72.52	3.84
	12	60.11	47.18	1569.82	295.07	146.99	5.11	81.19	3.68	85.39	3.81	87.60	3.87
	14	69.42	54.49	1792.59	331.95	169.12	5.08	95.28	3.70	100.31	3.84	102.95	3.91
	16	78.56	61.67	2006.11	366.21	190.66	5.05	109.64	3.74	115.52	3.87	118.60	3.94
2L180×110×	10	56.75	44.55	1912.50	324.73	157.92	5.81	81.31	3.97	85.01	4.10	86.96	4.16
	12	67.42	52.93	2249.44	376.46	187.07	5.78	97.99	4.00	102.55	4.13	104.94	4.19
	14	77.93	61.18	2573.82	424.92	215.51	5.75	114.90	4.03	120.35	4.16	123.21	4.23
	16	88.28	69.30	2886.12	470.32	243.28	5.72	132.08	4.06	138.46	4.19	141.79	4.26
2L200×125×	12	75.82	59.52	3141.80	480.19	233.47	6.44	126.04	4.56	131.06	4.69	133.69	4.75
	14	87.73	68.87	3601.94	543.71	269.30	6.41	147.60	4.59	153.59	4.72	156.72	4.78
	16	99.48	78.09	4046.70	603.62	304.36	6.38	169.42	4.61	176.42	4.75	180.07	4.81
	18	111.05	87.18	4476.61	660.11	338.67	6.35	191.54	4.64	199.58	4.78	203.76	4.85

续表

面 特 性													
$y-y$ 轴													
当 a (mm) 为													
8		10		12		14		16		18		20	
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
10.33	2.09	10.88	2.17	11.45	2.24	12.05	2.32	12.67	2.40	13.31	2.48	13.98	2.56
12.49	2.11	13.16	2.19	13.86	2.27	14.58	2.34	15.33	2.43	16.11	2.51	16.92	2.59
14.70	2.13	15.49	2.21	16.31	2.29	17.17	2.37	18.05	2.45	18.97	2.53	19.91	2.62
16.95	2.15	17.87	2.23	18.82	2.31	19.80	2.39	20.83	2.47	21.88	2.56	22.96	2.64
12.62	2.29	13.22	2.36	13.84	2.44	14.49	2.52	15.16	2.59	15.86	2.67	16.58	2.75
15.25	2.31	15.97	2.39	16.73	2.46	17.52	2.54	18.33	2.62	19.18	2.70	20.04	2.78
17.92	2.33	18.78	2.41	19.67	2.48	20.60	2.56	21.56	2.64	22.55	2.72	23.57	2.81
20.64	2.35	21.63	2.43	22.66	2.51	23.73	2.59	24.84	2.67	25.98	2.75	27.15	2.83
18.81	2.56	19.59	2.63	20.41	2.71	21.26	2.78	22.14	2.86	23.05	2.94	23.99	3.02
22.07	2.58	23.00	2.65	23.97	2.73	24.97	2.80	26.00	2.88	27.07	2.96	28.17	3.04
25.38	2.60	26.46	2.67	27.57	2.75	28.73	2.83	29.92	2.91	31.15	2.99	32.42	3.07
32.17	2.64	33.54	2.72	34.96	2.79	36.44	2.87	37.95	2.95	39.51	3.03	41.12	3.11
28.85	3.38	29.73	3.45	30.63	3.52	31.56	3.59	32.52	3.67	33.50	3.74	34.51	3.82
33.75	3.39	34.78	3.47	35.85	3.54	36.94	3.61	38.07	3.69	39.22	3.77	40.41	3.84
38.69	3.41	39.88	3.49	41.10	3.56	42.36	3.64	43.66	3.71	44.99	3.79	46.35	3.87
48.68	3.45	50.19	3.53	51.75	3.60	53.35	3.68	54.99	3.75	56.67	3.83	58.39	3.91
22.74	2.81	23.58	2.88	24.46	2.96	25.36	3.03	26.30	3.11	27.27	3.18	28.27	3.26
26.66	2.83	27.65	2.80	28.68	2.98	29.75	3.05	30.86	3.13	32.00	3.21	33.17	3.28
30.62	2.85	31.77	2.92	32.97	3.00	34.20	3.07	35.48	3.15	36.79	3.23	38.14	3.31
38.71	2.89	40.19	2.96	41.71	3.04	43.29	3.12	44.91	3.19	46.58	3.27	48.29	3.35
34.03	3.18	35.12	3.25	36.26	3.33	37.43	3.40	38.64	3.47	39.89	3.55	41.17	3.63
39.05	3.20	40.31	3.27	41.63	3.35	42.98	3.42	44.38	3.49	45.81	3.57	47.29	3.65
49.25	3.24	50.87	3.31	52.54	3.39	54.27	3.46	56.04	3.54	57.87	3.61	59.74	3.69
59.69	3.28	61.67	3.35	63.72	3.43	65.83	3.50	68.00	3.58	70.22	3.66	72.49	3.74
48.54	3.56	49.92	3.63	51.34	3.70	52.82	3.77	54.33	3.84	55.89	3.92	57.49	3.99
61.11	3.59	62.87	3.66	64.69	3.73	66.57	3.81	68.49	3.88	70.47	3.96	72.50	4.04
73.93	3.63	76.09	3.70	78.31	3.77	80.60	3.85	82.95	3.92	85.36	4.00	87.83	4.08
87.01	3.66	89.58	3.74	92.23	3.81	94.94	3.89	97.73	3.97	100.58	4.04	103.49	4.12
74.39	3.91	76.31	3.98	78.29	4.05	80.33	4.12	82.43	4.19	84.58	4.27	86.79	4.34
89.88	3.94	92.24	4.01	94.07	4.09	97.16	4.16	99.72	4.23	102.34	4.31	105.02	4.38
105.67	3.98	108.48	4.05	111.36	4.12	114.32	4.20	117.35	4.27	120.45	4.35	123.62	4.43
121.78	4.02	125.04	4.09	128.39	4.16	131.82	4.24	135.34	4.31	138.94	4.39	142.61	4.47
88.98	4.23	91.06	4.30	93.20	4.36	95.40	4.44	97.66	4.51	99.98	4.58	102.36	4.65
107.42	4.26	109.96	4.33	112.58	4.40	115.27	4.47	118.03	4.54	120.86	4.62	123.75	4.69
126.15	4.30	129.18	4.37	132.30	4.44	135.49	4.51	138.76	4.58	142.11	4.66	145.53	4.73
145.23	4.33	148.75	4.40	152.37	4.47	156.08	4.55	159.87	4.62	163.75	4.70	167.71	4.77
136.40	4.82	139.18	4.88	142.04	4.95	144.96	5.02	147.96	5.09	151.03	5.17	154.16	5.24
159.94	4.85	163.25	4.92	166.64	4.99	170.11	5.06	173.66	5.13	177.29	5.20	180.99	5.28
183.82	4.88	187.66	4.95	191.60	5.02	195.63	5.09	199.75	5.17	203.95	5.24	208.24	5.32
208.05	4.92	212.45	4.99	216.95	5.06	221.55	5.13	226.25	5.21	231.04	5.28	235.92	5.36

(4) 两个热轧普通槽钢的组合截面特性(按 GB/T 707—1988 计算)



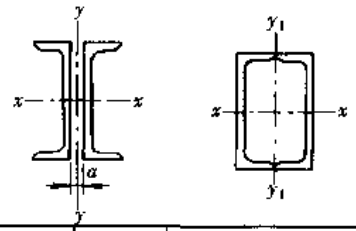
I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

槽钢型号	截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截											
			$x-x$ 轴											
			I_x (cm^4)	W (cm^3)	i_x (cm)	0		4		6		8	
						W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
2[5	13.85	10.87	52.0	20.81	1.94	11.29	1.74	12.77	1.90	13.55	1.98	14.37	2.06
2[6.3	16.89	13.26	102.5	32.53	2.46	14.13	1.83	15.86	1.99	16.78	2.07	17.74	2.15
2[8	20.49	16.08	202.6	50.65	3.14	17.40	1.91	19.40	2.06	20.47	2.14	21.59	2.23
2[10	25.49	20.01	396.6	79.32	3.94	22.89	2.08	25.27	2.23	26.54	2.30	27.86	2.38
2[12.6	31.37	24.63	777.1	123.34	4.98	29.35	2.23	32.14	2.37	33.63	2.45	35.18	2.53
2[14a	37.02	29.06	1127.4	161.06	5.52	36.95	2.41	40.18	2.55	41.90	2.63	43.68	2.70
2[14b	42.62	33.46	1218.9	174.13	5.35	40.19	2.38	43.76	2.52	45.66	2.60	47.64	2.67
2[16a	43.91	34.47	1732.4	216.56	6.28	45.74	2.56	49.45	2.71	51.43	2.78	53.47	2.86
2[16b	50.31	39.49	1869.0	233.62	6.10	49.47	2.53	53.56	2.67	55.74	2.74	58.00	2.82
2[18a	51.38	40.33	2545.5	282.83	7.04	55.79	2.72	60.02	2.86	62.26	2.93	64.58	3.01
2[18b	58.58	45.99	2739.9	304.43	6.84	60.03	2.68	64.68	2.82	67.14	2.89	69.70	2.97
2[20a	57.66	45.26	3560.8	356.08	7.86	66.86	2.91	71.56	3.05	74.04	3.12	76.60	3.20
2[20b	65.66	51.54	3827.4	382.74	7.64	71.57	2.86	76.70	3.00	79.42	3.07	82.24	3.15
2[22a	63.67	49.98	4787.7	435.25	8.67	77.46	3.06	82.59	3.20	85.30	3.27	88.10	3.35
2[22b	72.47	56.89	5142.7	467.52	8.42	82.60	3.00	88.20	3.14	91.16	3.21	94.24	3.28
2[25a	69.81	54.80	6718.2	537.46	9.81	83.28	3.05	98.75	3.19	91.65	3.26	94.65	3.33
2[25b	79.81	62.65	7239.1	579.13	9.52	88.77	2.98	94.76	3.12	97.93	3.19	101.22	3.26
2[25c	89.81	70.50	7759.9	620.79	9.30	94.78	2.94	101.33	3.08	104.81	3.15	108.42	3.22
2[28a	80.04	62.83	9505.1	678.93	10.90	95.93	3.13	102.01	3.27	105.22	3.34	108.55	3.41
2[28b	91.24	71.63	10236.8	731.20	10.59	102.02	3.06	108.67	3.20	112.19	3.27	115.84	3.34
2[28c	102.44	80.42	10968.5	783.47	10.35	108.68	3.02	115.96	3.16	119.81	3.23	123.82	3.30
2[32a	97.00	76.14	15021.3	938.83	12.44	124.43	3.36	131.74	3.50	135.59	3.57	139.57	3.64
2[32b	109.80	86.19	16113.5	1007.10	12.11	131.76	3.29	139.70	3.42	143.90	3.49	148.25	3.56
2[32c	122.60	96.24	17205.8	1075.36	11.85	139.72	3.24	148.37	3.37	152.95	3.44	157.69	3.51
2[36a	121.78	95.60	23748.2	1319.35	13.96	170.52	3.67	179.68	3.80	184.49	3.87	189.45	3.94
2[36b	136.18	106.90	25303.4	1405.75	13.63	179.70	3.60	189.59	3.73	194.79	3.80	200.15	3.87
2[36c	150.58	118.21	26858.6	1492.15	13.36	189.61	3.55	200.28	3.68	205.60	3.75	211.71	3.82
2[40a	150.09	117.82	35155.4	1757.77	15.30	211.57	3.75	222.68	3.89	228.50	3.96	234.51	4.03
2[40b	166.09	130.38	37288.7	1864.44	14.98	222.70	3.70	234.65	3.83	240.93	3.90	247.41	3.97
2[40c	182.09	142.94	39422.1	1971.10	14.71	234.67	3.66	247.55	3.80	254.32	3.87	261.30	3.94

表 17-4

面 特 性														
y y 轴												y_1-y_1 轴		
当 a (mm) 为												I_{y1}	W_{y1}	i_{y1}
10		12		14		16		18		20				
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)
15.21	2.15	16.08	2.23	16.97	2.32	17.88	2.41	18.82	2.50	19.77	2.59	93	25.2	2.60
18.73	2.23	19.75	2.32	20.79	2.41	21.87	2.49	22.97	2.58	24.00	2.67	139	34.7	2.87
22.74	2.31	23.92	2.39	25.14	2.48	26.40	2.56	27.68	2.65	29.00	2.74	203	47.1	3.15
29.23	2.47	30.64	2.55	32.09	2.63	33.58	2.72	35.11	2.80	36.67	2.89	326	67.9	3.58
36.78	2.61	38.43	2.69	40.14	2.77	41.89	2.85	43.68	2.94	45.52	3.02	507	95.7	4.02
45.52	2.78	47.42	2.86	49.37	2.94	51.38	3.03	53.44	3.11	55.55	3.19	727	125.3	4.43
49.69	2.75	51.80	2.83	53.98	2.91	56.22	2.99	58.51	3.08	60.87	3.16	922	153.6	4.65
55.58	2.93	57.76	3.01	60.00	3.09	62.31	3.17	64.67	3.26	67.08	3.34	1038	164.7	4.86
60.34	2.90	62.75	2.98	65.24	3.06	67.80	3.14	70.42	3.22	73.11	3.30	1300	200.0	5.08
66.98	3.08	69.46	3.16	72.00	3.24	74.61	3.32	77.29	3.40	80.03	3.49	1439	211.7	5.29
72.35	3.04	75.08	3.12	77.89	3.20	80.78	3.28	83.75	3.36	86.79	3.44	1782	254.6	5.52
79.25	3.27	81.98	3.35	84.78	3.43	87.66	3.51	90.61	3.59	93.62	3.67	1872	256.4	5.70
85.15	3.22	88.15	3.30	91.23	3.38	94.41	3.45	97.66	3.53	100.99	3.62	2310	308.0	5.93
90.98	3.42	93.95	3.50	97.00	3.58	100.13	3.66	103.33	3.74	106.61	3.82	2312	300.3	6.03
97.38	3.36	100.64	3.44	103.99	3.51	107.43	3.59	110.96	3.67	114.57	3.75	2848	360.5	6.27
97.74	3.41	100.92	3.48	104.19	3.56	107.55	3.64	111.00	3.72	114.52	3.80	2647	339.4	6.16
104.62	3.34	108.13	3.41	111.74	3.49	115.44	3.57	119.25	3.65	123.15	3.73	3272	408.9	6.40
112.15	3.30	116.01	3.37	119.97	3.45	124.05	3.53	128.23	3.60	132.52	3.68	3928	479.0	6.61
111.98	3.49	115.51	3.56	119.15	3.64	122.89	3.72	126.71	3.80	130.63	3.87	3420	417.1	6.54
119.61	3.42	123.50	3.49	127.51	3.57	131.62	3.64	135.85	3.72	140.18	3.80	4192	499.1	6.78
127.95	3.37	132.22	3.45	136.62	3.52	141.15	3.60	145.79	3.68	150.55	3.76	5001	581.5	6.99
143.68	3.71	147.90	3.79	152.24	3.86	156.69	3.94	161.25	4.02	165.91	4.09	4787	544.0	7.03
152.73	3.64	157.35	3.71	162.10	3.78	166.98	3.86	171.98	3.94	177.10	4.02	5801	644.5	7.27
162.58	3.59	167.62	3.66	172.81	3.74	178.14	3.81	183.61	3.89	189.20	3.97	6861	745.8	7.48
194.55	4.02	199.79	4.09	205.17	4.17	210.67	4.24	216.31	4.32	222.06	4.40	7147	744.5	7.66
205.68	3.94	211.36	4.02	217.19	4.09	223.17	4.17	229.29	4.24	235.55	4.32	8502	867.6	7.90
217.69	3.90	223.84	3.97	230.16	4.04	236.63	4.12	243.27	4.20	250.06	4.27	9914	991.4	8.11
240.68	4.40	247.03	4.18	253.53	4.25	260.19	4.33	267.01	4.40	273.97	4.48	9646	964.6	8.02
254.07	4.05	260.92	4.12	267.95	4.19	275.15	4.27	282.53	4.35	290.06	4.42	11278	1105.7	8.24
268.48	4.01	275.87	4.08	283.45	4.16	291.22	4.23	299.18	4.31	307.32	4.39	12975	1247.6	8.44

(5) 两个热轧轻型槽钢的组合截面特性（按 YB 164—63 计算）



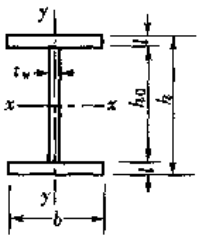
I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

槽钢型号	截面面积 A (cm^2)	每米重量 (kg/m)	截											
			$x-x$ 轴											
						0		4		6		8		
			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
2[5	12.33	9.68	45.5	18.20	1.92	8.72	1.50	10.04	1.66	10.74	1.75	11.48	1.83
2[6.5	15.02	11.79	97.2	29.91	2.54	11.21	1.64	12.74	1.80	13.56	1.88	14.41	1.96
2[8	17.95	14.09	178.9	44.72	3.16	14.09	1.77	15.83	1.92	16.76	2.00	17.73	2.08
2[10	21.89	17.18	347.7	69.54	3.99	18.69	1.98	20.71	2.13	21.80	2.21	22.92	2.29
2[12	26.57	20.85	607.7	101.29	4.78	24.16	2.17	26.50	2.32	27.75	2.40	29.05	2.47
2[14	31.30	24.57	982.2	140.31	5.60	30.77	2.39	33.45	2.53	34.88	2.61	36.36	2.68
2[14a	33.96	26.66	1089.5	155.64	5.66	37.71	2.62	40.71	2.77	42.30	2.85	43.95	2.92
2[16	36.23	28.44	1494.0	186.75	6.72	38.20	2.60	41.22	2.74	42.83	2.81	44.49	2.89
2[16a	39.09	30.68	1646.7	205.83	6.49	46.20	2.83	49.57	2.98	51.35	3.05	53.19	3.13
2[18	41.41	32.51	2172.6	241.40	7.24	46.74	2.81	50.13	2.95	51.92	3.03	53.78	3.10
2[18a	44.46	34.90	2381.3	264.59	7.32	55.88	3.05	59.64	3.19	61.61	3.27	63.66	3.34
2[20	46.79	36.73	3044.0	304.40	8.07	56.13	3.02	59.89	3.16	61.88	3.23	63.93	3.31
2[20a	50.33	39.51	3344.9	334.49	8.15	67.32	3.27	71.52	3.41	73.72	3.49	75.99	3.56
2[22	53.44	41.95	4219.0	383.54	8.89	68.64	3.25	72.89	3.38	75.13	3.46	77.44	3.53
2[22a	57.62	45.23	4654.6	423.15	8.99	83.06	3.54	87.82	3.68	90.32	3.76	92.88	3.83
2[24	61.28	48.10	5802.1	483.51	9.73	86.09	3.56	90.94	3.70	93.49	3.77	96.11	3.84
2[24a	65.78	51.64	6362.4	530.20	9.83	102.84	3.85	108.24	4.00	111.06	4.07	113.95	4.14
2[27	70.46	55.31	8326.7	616.79	10.87	100.53	3.68	105.94	3.82	108.77	3.89	111.69	3.96
2[30	80.95	63.54	11616.5	774.44	11.98	116.58	3.80	122.60	3.93	125.76	4.00	129.01	4.07
2[33	93.04	73.04	15968.1	967.76	13.10	137.56	3.94	144.34	4.07	147.90	4.14	151.56	4.21
2[36	106.74	83.79	21631.1	1201.73	14.24	163.30	4.10	171.00	4.24	175.03	4.30	179.18	4.37
2[40	123.06	96.60	30439.2	1521.96	15.73	192.91	4.25	201.62	4.38	206.18	4.45	210.87	4.52

表 17-5

面特性														
$y-y$ 轴												y_1-y_1 轴		
当 a(mm)为														
10		12		14		16		18		20		I_{y1}	W_{y1}	i_{y1}
W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	W_y (cm^3)	i_y (cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)
12.25	1.92	13.04	2.00	13.85	2.09	14.68	2.18	15.53	2.27	16.40	2.36	62	19.5	2.25
15.29	2.04	16.21	2.13	17.15	2.22	18.12	2.30	19.11	2.39	20.12	2.48	101	28.1	2.60
18.74	2.17	19.79	2.25	20.86	2.34	21.97	2.42	23.10	2.51	24.26	2.60	156	38.9	2.94
24.09	2.37	25.30	2.45	26.55	2.54	27.83	2.62	29.14	2.71	30.48	2.79	260	56.5	3.45
30.40	2.55	31.80	2.63	33.23	2.72	34.71	2.80	36.23	2.88	37.78	2.97	418	80.3	3.96
37.89	2.76	39.48	2.84	41.11	2.92	42.78	3.00	44.50	3.09	46.26	3.17	623	107.5	4.46
45.65	3.00	47.39	3.08	49.19	3.16	51.03	3.24	52.91	3.33	54.84	3.41	752	121.2	4.70
46.21	2.97	47.99	3.04	49.82	3.12	51.70	3.21	53.62	3.29	55.59	3.37	892	139.4	4.96
55.08	3.21	57.04	3.29	59.04	3.37	61.09	3.45	63.19	3.53	65.34	3.61	1058	155.6	5.20
55.69	3.18	57.67	3.25	59.70	3.33	61.79	3.41	63.93	3.49	66.12	3.57	1234	176.3	5.46
65.76	3.42	67.92	3.50	70.14	3.57	72.42	3.65	74.74	3.74	77.12	3.82	1443	195.0	5.70
66.05	3.38	68.23	3.46	70.47	3.54	72.77	3.61	75.12	3.69	77.53	3.77	1660	218.4	5.96
78.33	3.64	80.73	3.71	83.19	3.79	85.71	3.87	88.28	3.95	90.91	4.03	1925	240.6	6.18
79.82	3.60	82.27	3.68	84.78	3.76	87.36	3.84	90.00	3.91	92.69	3.99	2217	270.3	6.44
95.52	3.91	98.22	3.98	100.98	4.06	103.81	4.14	106.70	4.22	109.65	4.30	2619	301.0	6.74
98.80	3.91	101.57	3.99	104.40	4.07	107.31	4.14	110.27	4.22	113.30	4.30	3066	340.7	7.07
116.92	4.22	119.96	4.29	123.06	4.37	126.24	4.45	129.48	4.52	132.78	4.60	3575	376.3	7.37
114.70	4.03	117.78	4.11	120.95	4.18	124.18	4.26	127.50	4.34	130.88	4.42	4001	421.2	7.54
132.35	4.14	135.79	4.22	139.31	4.29	142.92	4.37	146.61	4.44	150.37	4.52	5187	518.7	8.00
155.32	4.29	159.19	4.36	163.15	4.43	167.21	4.51	171.35	4.58	175.59	4.66	6642	632.5	8.45
183.44	4.45	187.81	4.52	192.29	4.59	196.88	4.67	201.57	4.74	206.35	4.82	8408	764.4	8.88
215.68	4.59	220.62	4.66	225.68	4.73	230.86	4.80	236.15	4.88	241.56	4.95	10696	930.1	9.32

(6) 焊接工字形钢的截面特性



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
S—半截面面积矩；
i—截面回转半径

表 17-6

尺寸 (mm)			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
300	280×6	200×10	56.8	44.6	9511	634.1	12.94	348.8	1334	133.4	4.85
		250×10	66.8	52.4	11614	774.3	13.19	421.3	2605	208.4	6.24
		300×10	76.8	60.3	13718	914.5	13.36	493.8	4501	300.0	7.66
	276×6	200×12	64.6	50.7	11010	734.0	13.06	402.7	1600	160.0	4.98
		250×12	76.6	60.1	13500	900.0	13.28	489.1	3125	250.0	6.39
		300×12	88.6	69.5	15990	1066	13.44	575.5	5400	360.0	7.81
	268×8	200×12	70.1	55.0	11361	757.4	12.73	421.8	1601	160.1	4.78
		250×12	82.1	64.4	13850	923.4	12.99	508.2	3126	250.1	6.17
		300×12	94.1	73.9	16340	1089	13.18	594.6	5401	360.1	7.58
	268×8	200×16	85.4	67.1	14202	946.8	12.89	526.2	2134	213.4	5.00
		250×16	101.4	79.6	17432	1162	13.11	639.8	4168	333.4	6.41
		300×16	117.4	92.2	20661	1377	13.26	753.4	7201	480.1	7.83
	276×10	200×12	75.6	59.3	11711	780.7	12.45	440.8	1602	160.2	4.60
		250×12	87.6	68.8	14201	946.7	12.73	527.2	3127	250.2	5.97
		300×12	99.6	78.2	16691	1113	12.95	613.6	5402	360.2	7.36
	268×10	200×12	90.8	71.3	14523	968.2	12.65	544.2	2136	213.6	4.85
		250×16	106.8	83.8	17752	1183	12.89	657.8	4169	333.5	6.25
		300×16	122.8	96.4	20982	1399	13.07	771.4	7202	480.1	7.66
	268×12	200×16	96.2	75.5	14843	989.6	12.42	562.1	2137	213.7	4.71
		250×16	112.2	88.0	18073	1205	12.69	675.7	4171	333.6	6.10
		300×16	128.2	100.6	21303	1420	12.89	789.3	7204	480.3	7.50
360	340×6	200×10	60.4	47.4	14219	789.9	15.34	436.7	1334	133.4	4.70
		250×10	70.4	55.3	17282	960.1	15.67	524.2	2605	208.4	6.08
		300×10	80.4	63.1	20345	1130	15.91	611.7	4501	300.0	7.48
	336×6	200×12	68.2	53.5	16435	913.0	15.53	502.3	1601	160.1	4.85
		250×12	80.2	62.9	20069	1115	15.82	606.7	3126	250.0	6.24
		300×12	92.2	72.3	23704	1317	16.04	711.1	5401	360.0	7.66
		350×12	104.2	81.8	27339	1519	16.20	815.5	8576	490.0	9.07
	336×8	200×12	74.9	58.8	17067	948.2	15.10	530.5	1601	160.1	4.62
		250×12	86.9	68.2	20702	1150	15.44	634.9	3126	250.1	6.00
		300×12	98.9	77.6	24336	1352	15.49	739.3	5401	360.1	7.39
		350×12	110.9	87.0	27971	1554	15.88	843.7	8576	490.1	8.79

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
360	328 × 8	200 × 16	90.2	70.8	21300	1183	15.36	658.0	2135	213.5	4.86
		250 × 16	106.2	83.4	26037	1446	15.65	795.6	4168	333.4	6.26
		300 × 16	122.2	96.0	30774	1710	15.87	933.2	7201	480.1	7.68
		350 × 16	138.2	108.5	35510	1973	16.03	1071	11435	653.4	9.09
	336 × 10	200 × 12	81.6	64.1	17699	983.3	14.73	558.7	1603	160.3	4.43
		250 × 12	93.6	73.5	21334	1185	15.10	663.1	3128	250.2	5.78
		300 × 12	105.6	82.9	24968	1387	15.38	767.5	5403	360.2	7.15
		350 × 12	117.6	92.3	28603	1589	15.60	871.9	8578	490.2	8.54
	328 × 10	200 × 16	96.8	76.0	21888	1216	15.04	684.9	2136	213.6	4.70
		250 × 16	112.8	88.5	26625	1479	15.36	822.5	4169	333.6	6.08
		300 × 16	128.8	101.1	31362	1742	15.60	960.1	7203	480.2	7.48
		350 × 16	144.8	113.7	36099	2005	15.79	1098	11436	653.5	8.89
	328 × 12	200 × 16	103.4	81.1	22476	1249	14.75	711.8	2138	213.8	4.55
		250 × 16	119.4	93.7	27213	1512	15.10	849.4	4171	333.7	5.91
		300 × 16	135.4	106.3	31950	1775	15.36	987.0	7205	480.3	7.30
		350 × 16	151.4	118.8	36687	2038	15.57	1125	11438	653.6	8.69
	320 × 12	200 × 20	118.4	92.9	26423	1468	14.94	833.6	2671	267.1	4.75
		250 × 20	138.4	108.6	32210	1789	15.26	1004	5213	417.0	6.14
		300 × 20	158.4	124.3	37997	2111	15.49	1174	9005	600.3	7.54
		350 × 20	178.4	140.0	43783	2432	15.67	1344	14296	816.9	8.95
400	380 × 6	200 × 10	62.8	49.3	17957	897.8	16.91	498.3	1334	133.4	4.61
		250 × 10	72.8	57.1	21760	1088	17.29	595.8	2605	208.4	5.98
		300 × 10	82.8	65.0	25564	1278	17.57	693.3	4501	300.0	7.37
	376 × 6	200 × 12	70.6	55.4	20729	1036	17.14	571.6	1601	160.1	4.76
		250 × 12	82.6	64.8	25247	1262	17.49	688.0	3126	250.1	6.15
		300 × 12	94.6	74.2	29764	1488	17.74	804.4	5401	360.0	7.56
		350 × 12	106.6	83.6	34282	1714	17.94	920.8	8576	490.0	8.97
	376 × 8	200 × 12	78.1	61.3	21615	1081	16.64	607.0	1602	160.2	4.53
		250 × 12	90.1	70.7	26133	1307	17.03	723.4	3127	250.1	5.89
		300 × 12	102.1	80.1	30650	1533	17.33	839.8	5402	360.1	7.27
		350 × 12	114.1	89.6	35168	1758	17.56	956.2	8577	490.1	8.67
	368 × 8	200 × 16	93.4	73.4	26929	1346	16.98	749.8	2135	213.5	4.78
		250 × 16	109.4	85.9	32831	1642	17.32	903.4	4168	333.5	6.71
		300 × 16	125.4	98.5	38732	1937	17.57	1057	7202	480.1	7.58
		350 × 16	141.4	111.0	44634	2232	17.76	1211	11435	653.4	8.99
	376 × 10	200 × 12	85.6	67.2	22501	1125	16.21	642.3	1603	160.3	4.33
		250 × 12	97.6	76.6	27019	1351	16.64	758.7	3128	250.3	5.66
		300 × 12	109.6	86.0	31536	1577	16.96	875.1	5403	360.2	7.02
		350 × 12	121.6	95.5	36054	1803	17.22	991.5	8578	490.2	8.40
	368 × 10	200 × 16	100.8	79.1	27760	1388	16.59	783.7	2136	213.6	4.60
		250 × 16	116.8	91.7	33661	1683	16.98	937.3	4170	333.6	5.97
		300 × 16	132.8	104.2	39563	1978	17.26	1091	7203	480.2	7.36
		350 × 16	148.8	116.8	45465	2273	17.48	1244	11436	653.5	8.77
		400 × 16	164.8	129.4	51366	2568	17.65	1398	17070	853.5	10.18
	368 × 12	200 × 16	108.2	84.9	28590	1430	16.26	817.5	2139	213.9	4.45
		250 × 16	124.2	97.5	34492	1725	16.67	971.1	4172	333.8	5.80
		300 × 16	140.2	110.0	40394	2020	16.98	1125	7205	480.4	7.17
		350 × 16	156.2	122.6	46295	2315	17.22	1278	11439	653.6	8.56
		400 × 16	172.2	135.2	52197	2610	17.41	1432	17072	853.6	9.96

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
400	360×12	200	123.2	96.7	33572	1679	16.51	954.4	2672	267.2	4.66
		250	143.2	112.4	40799	2040	16.88	1144	5214	417.1	6.03
		300×20	163.2	128.1	48026	2401	17.15	1334	9005	600.3	7.43
		350	183.2	143.8	55252	2763	17.37	1524	14297	817.0	8.83
		400	203.2	159.5	62479	3124	17.53	1714	21339	1067	10.25
450	426×8	200	82.1	64.4	28181	1252	18.53	707.1	1602	160.2	4.42
		250	94.1	73.9	33938	1508	18.99	838.5	3127	250.1	5.77
		300×12	106.1	83.3	39694	1764	19.34	969.9	5402	360.1	7.14
		350	118.1	92.7	45451	2020	19.62	1101	8577	490.1	8.52
	418×8	200	97.4	76.5	35020	1556	18.96	869.1	2135	213.5	4.68
		250	113.4	89.1	42557	1891	19.37	1043	4168	333.5	6.06
		300×16	129.4	101.6	50095	2226	19.67	1216	7202	480.1	7.46
		350	145.4	114.2	57633	2561	19.91	1390	11435	653.4	8.87
		400	161.4	126.7	65170	2896	20.09	1564	17068	853.4	10.28
	418×10	200	105.8	83.1	36237	1611	18.51	912.8	2137	213.7	4.49
		250	121.8	95.6	43774	1946	18.96	1086	4170	333.6	5.85
		300×16	137.8	108.2	51312	2281	19.30	1260	7203	480.2	7.23
		350	153.8	120.7	58850	2616	19.56	1434	11437	653.5	8.62
		400	169.8	133.3	66387	2951	19.77	1607	17070	853.5	10.03
	410×10	200	121.0	95.0	42750	1900	18.80	1070	2670	267.0	4.70
		250	141.0	110.7	52002	2311	19.20	1285	5212	416.9	6.08
		300×20	161.0	126.4	61253	2722	19.51	1500	9003	600.2	7.48
		350	181.0	142.1	70505	3134	19.74	1715	14295	816.9	8.89
		400	201.0	157.8	79757	3545	19.92	1930	21337	1067	10.30
	418×12	200	114.2	89.6	37454	1665	18.11	956.5	2139	213.9	4.33
		250	130.2	102.2	44992	2000	18.59	1130	4173	333.8	5.66
		300×16	146.2	114.7	52529	2335	18.96	1304	7206	480.4	7.02
		350	162.2	127.3	60067	2670	19.25	1477	11439	653.7	8.40
		400	178.2	139.9	67605	3005	19.48	1651	17073	853.6	9.79
	410×12	200	129.2	101.4	43899	1951	18.43	1112	2673	267.3	4.55
		250	149.2	117.1	53150	2362	18.87	1327	5214	417.1	5.91
		300×20	169.2	132.8	62402	2773	19.20	1542	9006	600.4	7.30
		350	189.2	148.5	71654	3185	19.46	1757	14298	817.0	8.69
		400	209.2	164.2	80905	3596	19.67	1972	21339	1067	10.10
	410×16	200	145.6	114.3	46196	2053	17.81	1196	2681	268.1	4.29
		250	165.6	130.0	55448	2464	18.30	1411	5222	417.8	5.62
		300×20	185.6	145.7	64699	2876	18.67	1626	9014	600.9	6.97
		350	205.6	161.4	73951	3287	18.97	1841	14306	817.5	8.34
		400	225.6	177.1	83203	3698	19.20	2056	21347	1067	9.73
	400×16	200	164.0	128.7	53742	2389	18.10	1383	3347	334.7	4.52
		250	189.0	148.4	65044	2891	18.55	1648	6524	521.9	5.88
		300×25	214.0	168.0	76346	3393	18.89	1914	11264	750.9	7.25
		350	239.0	187.6	87648	3895	19.15	2179	17878	1022	8.65
		400	264.0	207.2	98950	4398	19.36	2445	26680	1334	10.05
500	476×8	200	86.1	67.6	35773	1431	20.39	812.2	1602	180.2	4.31
		250	98.1	77.0	42919	1717	20.92	958.6	3127	250.2	5.65
		300×12	110.1	86.4	50065	2003	21.33	1105	5402	360.1	7.01
		350	122.1	95.8	57210	2288	21.65	1251	8577	490.1	8.38
	468×8	250	117.4	92.2	53702	2148	21.38	1187	4169	333.5	5.96
		300	133.4	104.8	63075	2523	21.74	1381	7202	480.1	7.35
		350×16	149.4	117.3	72449	2898	22.02	1574	11435	653.4	8.75
		400	165.4	129.9	81823	3273	22.24	1768	17069	853.4	10.16
		450	181.4	142.4	91196	3648	22.42	1961	24302	1080	11.57

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0\times t_w$	$b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
500	468×10	250	126.8	99.5	55410	2216	20.90	1242	4171	333.6	5.74
		300	142.8	112.1	64784	2591	21.30	1435	7204	480.3	7.10
		350×16	158.8	124.7	74158	2966	21.61	1629	11437	653.6	8.49
		400	174.8	137.2	83531	3341	21.86	1823	17071	853.5	9.88
		450	190.8	149.8	92905	3716	22.07	2016	24304	1080	11.29
	460×10	250	146.0	114.6	65745	2630	21.22	1465	5212	417.0	5.97
		300	166.0	130.3	77271	3091	21.58	1705	9004	600.3	7.36
		350×20	186.0	146.0	88798	3552	21.85	1945	14296	816.9	8.77
		400	206.0	161.7	100325	4013	22.07	2185	21337	1067	10.18
		450	226.0	177.4	111851	4474	22.25	2425	30379	1350	11.59
	468×12	250	136.2	106.9	57119	2285	20.48	1297	4173	333.9	5.54
		300	152.2	119.4	66492	2660	20.90	1490	7207	480.4	6.88
		350×16	168.2	132.0	75866	3035	21.24	1684	11440	653.7	8.25
		400	184.2	144.6	85240	3410	21.51	1877	17073	853.7	9.63
		450	200.2	157.1	94613	3785	21.74	2071	24307	1080	11.02
	460×12	250	155.2	121.8	67367	2695	20.83	1517	5215	417.2	5.80
		300	175.2	137.5	78894	3156	21.22	1757	9007	600.4	7.17
		350×20	195.2	153.2	90420	3617	21.52	1997	14298	817.0	8.56
		400	215.2	168.9	101947	4078	21.77	2237	21340	1067	9.96
		450	235.2	184.6	113474	4539	21.96	2477	30382	1350	11.37
	460×16	250	173.6	136.3	70611	2824	20.17	1623	5224	417.9	5.49
		300	193.6	152.0	82138	3286	20.60	1863	9016	601.0	6.82
		350×20	213.6	167.7	93665	3747	20.94	2103	14307	817.6	8.18
		400	233.6	183.4	105191	4208	21.22	2343	21349	1067	9.56
		450	253.6	199.1	116718	4669	21.45	2583	30391	1351	10.95
	450×16	250	197.0	154.6	82723	3309	20.49	1889	6526	522.1	5.76
		300	222.0	174.3	96837	3874	20.89	2186	11265	751.0	7.12
		350×25	247.0	193.9	110952	4438	21.19	2483	17880	1022	8.51
		400	272.0	213.5	125067	5003	21.44	2780	26682	1334	9.90
		450	297.0	233.1	139181	5567	21.65	3070	37984	1688	11.31
	440×16	250	220.4	173.0	94308	3772	20.69	2150	7828	626.2	5.96
		300	250.4	196.6	110898	4436	21.04	2502	13515	901.0	7.35
		350×30	280.4	220.1	127488	5100	21.32	2855	21453	1226	8.75
		400	310.4	243.7	144078	5763	21.54	3207	32015	1601	10.16
		450	340.4	267.2	160668	6427	21.73	3560	45578	2026	11.57
550	526×8	200	90.1	70.7	44441	1616	22.21	922.3	1602	160.2	4.22
		250	102.1	80.1	53126	1932	22.81	1084	3127	250.2	5.53
		300×12	114.1	89.6	61811	2248	23.28	1245	5402	360.1	6.88
		350	126.1	99.0	70495	2563	23.65	1406	8577	490.1	8.25
	518×8	250	121.4	95.3	66314	2411	23.37	1336	4169	333.5	5.86
		300	137.4	107.9	77724	2826	23.78	1550	7202	480.1	7.24
		350×16	153.4	120.5	89134	3241	24.11	1764	11436	653.5	8.63
		400	169.4	133.0	100513	3656	24.36	1977	17069	853.4	10.04
		450	185.4	145.6	111953	4071	24.57	2191	24302	1080	11.45
	518×10	250	131.8	103.5	68631	2496	22.82	1403	4171	333.7	5.63
		300	147.8	116.0	80041	2911	23.27	1617	7204	480.3	6.98
		350×16	163.8	128.6	91450	3325	23.63	1831	11438	653.6	8.36
		400	179.8	141.1	102860	3740	23.92	2044	17071	853.5	9.74
		450	195.8	153.7	114270	4155	24.16	2258	24304	1080	11.14

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
550	510 × 10	250	151.0	118.5	81313	2957	23.21	1650	5213	417.0	5.88
		300	171.0	134.2	95364	3468	23.62	1915	9004	600.3	7.26
		350 × 20	191.0	149.9	109416	3979	23.93	2180	14296	816.9	8.65
		400	211.0	165.6	123468	4490	24.19	2445	21338	1067	10.06
		450	231.0	181.3	137519	5001	24.40	2710	30379	1350	11.47
	518 × 12	250	142.2	111.6	70947	2580	22.34	1470	4174	333.9	5.42
		300	158.2	124.2	82357	2995	22.82	1684	7207	480.5	6.75
		350 × 16	174.2	136.7	93767	3410	23.20	1898	11441	653.8	8.11
		400	190.2	149.3	105176	3825	23.52	2111	17074	853.7	9.48
		450	206.2	161.8	116586	4239	23.78	2325	24307	1080	10.86
	510 × 12	250	161.2	126.5	83523	3037	22.76	1715	5216	417.3	5.69
		300	181.2	142.2	97575	3548	23.21	1980	9007	600.5	7.05
		350 × 20	201.2	157.9	111627	4059	25.55	2245	14299	817.1	8.43
		400	221.2	173.6	125678	4570	23.84	2510	21341	1067	9.82
		450	241.2	189.3	139730	5081	24.07	2775	30382	1350	11.22
	510 × 16	250	181.6	142.6	87945	3198	22.01	1845	5226	418.1	5.36
		300	201.6	158.3	101997	3709	22.49	2110	9017	601.2	6.69
		350 × 20	221.6	174.0	116048	4220	22.88	2375	14309	817.7	8.04
		400	241.6	289.7	130100	4731	23.21	2640	21351	1068	9.40
		450	261.6	205.4	144152	5242	23.47	2905	30392	1351	10.78
	500 × 16	250	205.0	160.9	102865	3741	22.40	2141	6527	522.2	5.64
		300	230.0	180.1	120104	4367	22.85	2469	11267	751.1	7.00
		350 × 25	255.0	200.2	137344	4994	23.21	2797	17882	1022	8.37
		400	280.0	219.8	154583	5621	23.50	3125	26684	1334	9.76
		450	305.0	239.4	171823	6248	23.74	3453	37986	1688	11.16
	490 × 16	250	228.4	179.3	117199	4262	22.65	2430	7829	626.3	5.85
		300	258.4	202.8	137502	5000	23.07	2820	13517	901.1	7.23
		350 × 30	288.4	226.4	157804	5738	23.39	3210	21454	1226	8.62
		400	318.4	249.9	178107	6477	23.65	3600	32017	1601	10.03
		450	348.4	273.5	198409	7215	23.86	3990	45579	2026	11.44
600	576 × 8	200	94.1	73.9	54235	1808	24.01	1037	1602	160.2	4.13
		250 × 12	106.1	83.3	64609	2154	24.58	1214	3127	250.2	5.43
		300	118.1	92.7	74983	2499	25.20	1390	5402	360.2	6.76
		350	130.1	102.1	85357	2845	25.62	1567	8577	490.1	8.12
	568 × 8	250	125.4	98.5	80445	2681	25.32	1491	4169	333.5	5.77
		300	141.4	111.0	94091	3136	25.79	1724	7202	480.2	7.14
		350 × 16	157.4	123.6	107736	3591	26.16	1958	11436	653.5	8.52
		400	173.4	136.2	121382	4046	26.45	2191	17069	853.5	9.92
		450	189.4	148.7	135028	4501	26.70	2425	24302	1080	11.33
	568 × 10	250	136.8	107.4	83499	2783	24.71	1571	4171	333.7	5.52
		300	152.8	119.9	97145	3238	25.21	1805	7205	480.3	6.87
		350 × 16	168.8	132.5	110790	3693	25.62	2038	11438	653.6	8.23
		400	184.8	145.1	124436	4148	25.95	2272	17071	853.6	9.61
		450	200.8	157.6	138082	4603	26.22	2506	24305	1080	11.00
	560 × 10	250	156.0	122.5	98768	3292	25.16	1842	5213	417.0	5.78
		300	176.0	138.2	115595	3853	25.63	2132	9005	600.3	7.15
		350 × 20	196.0	153.9	132421	4414	25.99	2422	14296	816.9	8.54
		400	216.0	169.6	149248	4975	26.29	2712	21338	1067	9.94
		450	236.0	185.3	166075	5536	26.53	3002	30380	1350	11.35

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
600	568 × 12	250	148.2	116.3	86553	2885	24.17	1652	4175	334.0	5.31
		300	164.2	128.9	100199	3340	24.71	1886	7208	480.5	6.63
		350 × 16	180.2	141.4	113845	3795	25.14	2119	11442	653.8	7.97
		400	196.2	154.0	127490	4250	25.49	2353	17075	853.7	9.33
		450	212.2	166.5	141136	4705	25.79	2586	24308	1080	10.70
	560 × 12	300	187.2	147.0	118522	3951	25.16	2210	9008	600.5	6.94
		350	207.2	162.7	135348	4512	25.56	2500	14300	817.1	8.31
		400 × 20	227.2	178.4	152175	5072	25.88	2790	21341	1067	9.69
		450	247.2	194.1	169002	5633	26.15	3080	30383	1350	11.09
		500	267.2	209.8	185828	6194	26.37	3370	41675	1667	12.49
	560 × 16	300	209.6	164.5	124375	4146	24.36	2367	9019	601.3	6.56
		350	229.6	180.2	141202	4707	24.80	2657	14311	817.8	7.89
		400 × 20	249.6	195.9	158029	5268	25.16	2947	21352	1068	9.25
		450	269.6	211.6	174855	5829	25.47	3237	30394	1351	10.62
		500	289.6	227.3	191682	6389	25.73	3527	41686	1667	12.00
	550 × 16	300	238.0	186.8	146246	4875	24.79	2761	11269	751.3	6.88
		350	263.0	206.5	166923	5564	25.19	3121	17883	1022	8.25
		400 × 25	288.0	226.1	187000	6253	25.52	3480	26685	1334	9.63
		450	313.0	245.7	208277	6943	25.80	3839	37988	1688	11.02
		500	338.0	265.3	228954	7632	26.03	4199	52102	2084	12.42
	540 × 16	300	266.4	209.1	167335	5578	25.06	3148	13518	901.2	7.12
		350	296.4	232.7	191725	6391	25.43	3576	21456	1226	8.51
		400 × 30	326.4	256.2	216115	7204	25.73	4003	32018	1601	9.90
		450	356.4	279.8	240505	8017	25.98	4431	45581	2026	11.31
		500	386.4	303.3	264895	8830	26.18	4858	62518	2501	12.72
700	668 × 8	300	149.4	117.3	132178	3777	29.74	2088	7203	480.2	6.94
		350 × 16	165.4	129.9	150895	4311	30.20	2361	11436	653.5	8.31
		400 × 16	181.4	142.4	169613	4846	30.57	2635	17070	853.5	9.70
		450	197.4	155.0	188331	5381	30.88	2909	24303	1080	11.09
	668 × 10	300	162.8	127.8	137146	3918	29.02	2199	7206	480.4	6.65
		350 × 16	178.8	140.4	155863	4453	29.52	2473	11439	653.7	8.00
		400 × 16	194.8	152.9	174581	4988	29.94	2747	17072	853.6	9.36
		450	210.8	165.5	193299	5523	30.28	3020	24306	1080	10.74
	660 × 10	300	186.0	146.0	162718	4649	29.58	2585	9006	600.4	6.96
		350 × 20	206.0	161.7	185845	5310	30.04	2925	14297	817.0	8.33
		400 × 20	226.0	177.4	208971	5971	30.41	3264	21339	1067	9.72
		450	246.0	193.1	232098	6631	30.72	3604	30381	1350	11.11
	668 × 12	300	176.2	138.3	142114	4060	28.40	2311	7210	480.6	6.40
		350 × 16	192.2	150.8	160831	4595	28.93	2585	11443	653.9	7.72
		400 × 16	208.2	163.4	179549	5130	29.37	2858	17076	853.8	9.06
		450	224.2	176.0	198267	5665	29.74	3132	24310	1080	10.41
	660 × 12	300	199.2	156.4	167510	4786	29.00	2693	9010	600.6	6.73
		350	219.2	172.1	190636	5447	29.49	3033	14301	817.2	8.08
		400 × 20	239.2	187.8	213763	6108	29.89	3373	21343	1067	9.45
		450	259.2	203.5	236890	6768	30.23	3713	30385	1350	10.83
		500	279.2	219.2	260016	7429	30.52	4053	41676	1667	12.22
	660 × 16	350	245.6	192.8	200219	5721	28.55	3251	14314	818.0	7.63
		400	265.6	208.5	223346	6381	29.00	3591	21356	1068	8.97
		450 × 20	285.6	224.2	246473	7042	29.38	3931	30398	1351	10.32
		500	305.6	239.9	269599	7703	29.70	4271	41689	1668	11.68
		550	325.6	255.6	292726	8364	29.98	4611	55481	2017	13.05

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
700	650 × 16	350	279.0	219.0	236044	6744	29.09	3798	17887	1022	8.01
		400	304.0	238.6	264533	7558	29.50	4220	26689	1334	9.37
		450 × 25	329.0	258.3	293023	8372	29.84	4642	37991	1668	10.75
		500	354.0	277.9	321512	9186	30.14	5064	52106	2084	12.13
		550	379.0	297.5	350002	10000	30.39	5486	69345	2522	13.53
	640 × 16	350	312.4	245.2	270783	7737	29.44	4337	21459	1226	8.29
		400	342.4	268.8	304473	8699	29.82	4839	32022	1601	9.67
		450 × 30	372.4	292.3	338163	9662	30.13	5342	45584	2026	11.06
		500	402.4	315.9	371853	10624	30.40	5844	62522	2501	12.46
		550	432.4	339.4	405543	11587	30.62	6347	83209	3026	13.87
	640 × 20	350	338.0	265.3	279521	7986	28.76	4542	21480	1227	7.97
		400	368.0	288.9	313211	8949	29.17	5044	32043	1602	9.33
		450 × 30	398.0	312.4	346901	9911	29.52	5546	45605	2027	10.70
		500	428.0	336.0	380591	10874	29.82	6049	62543	2502	12.09
		550	458.0	359.5	414281	11837	30.08	6552	83230	3027	13.48
	628 × 20	350	377.6	296.4	319315	9123	29.08	5169	25767	1472	8.26
		400	413.6	324.7	359035	10258	29.46	5767	38442	1922	9.64
		450 × 36	449.6	352.9	398755	11393	29.78	6364	54717	2432	11.03
		500	485.6	381.2	438474	12528	30.05	6962	75042	3002	12.43
		550	521.6	409.5	478194	13663	30.28	7560	99867	3632	13.84
800	768 × 8	300	157.4	123.6	177737	4443	33.60	2471	7203	480.2	6.76
		350	173.4	136.2	202327	5058	34.15	2785	11437	653.5	8.12
		400 × 16	189.4	148.7	226916	5673	34.61	3099	17070	853.5	9.49
		450	205.4	161.3	251506	6288	34.99	3412	24303	1080	10.88
	768 × 10	300	172.8	135.6	185287	4632	32.75	2619	7206	480.4	6.46
		350	188.8	148.2	209876	5247	33.34	2932	11440	653.7	7.78
		400 × 16	204.8	160.8	234466	5862	33.84	3246	17073	853.7	9.13
		450	220.8	173.3	259056	6476	34.25	3560	24306	1080	10.49
	768 × 10	300	196.0	153.9	219141	5479	33.44	3062	9006	600.4	6.78
		350	216.0	169.6	249568	6239	33.99	3452	14298	817.0	8.14
		400 × 20	236.0	185.3	279995	7000	34.44	3842	21340	1067	9.51
		450	256.0	201.0	310421	7761	34.82	4232	30381	1350	10.89
	768 × 12	300	188.2	147.7	192836	4821	32.01	2766	7211	480.7	6.19
		350	204.2	160.3	217426	5436	32.63	3080	11444	654.0	7.49
		400 × 16	220.2	172.8	242016	6050	33.16	3394	17078	853.9	8.81
		450	236.2	185.4	266605	6665	33.60	3707	24311	1080	10.15
	760 × 12	300	211.2	165.8	226458	5661	32.75	3206	9011	600.7	6.53
		350	231.2	181.5	256884	6422	33.33	3596	14303	817.3	7.87
		400 × 20	251.2	197.2	287311	7183	33.82	3986	21344	1067	9.22
		450	271.2	212.9	317738	7943	34.23	4376	30386	1350	10.59
		500	291.2	228.6	348164	8704	34.58	4766	41678	1667	11.96
	760 × 16	350	261.6	205.4	271517	6788	32.22	3885	14318	818.1	7.40
		400	281.6	221.1	301943	7549	32.75	4275	21359	1068	8.71
		450 × 20	301.6	236.8	332370	8309	33.20	4665	30401	1351	10.04
		500	321.6	252.5	362797	9070	33.59	5055	41693	1668	11.39
		550	341.6	268.2	393223	9831	33.93	5445	55484	2018	12.74
	750 × 16	350	295.0	231.6	319115	7978	32.89	4516	17890	1022	7.79
		400	320.0	251.2	356667	8917	33.39	5000	26692	1335	9.13
		450 × 25	345.0	270.8	394219	9855	33.80	5484	37994	1689	10.49
		500	370.0	290.5	431771	10794	34.16	5969	52109	2084	11.87
		550	395.0	310.1	469323	11733	34.47	6453	69349	2522	13.25

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
800	740 × 16	400	358.4	281.3	409950	10249	33.82	5715	32025	1601	9.45
		450	388.4	304.9	454440	11361	34.21	6293	45588	2026	10.83
		500 × 30	418.4	328.4	498930	12473	34.53	6870	62525	2501	12.22
		550	448.4	352.0	543420	13585	34.81	7448	83213	3026	13.62
		600	478.4	375.6	587910	14698	35.06	8025	108025	3601	15.03
	740 × 20	400	388.0	304.6	423457	10586	33.04	5989	32049	1602	9.09
		450	418.0	328.1	467947	11699	33.46	6566	45612	2027	10.45
		500 × 30	448.0	351.7	512437	12811	33.82	7144	62549	2502	11.82
		550	478.0	375.2	556927	13923	34.13	7721	83237	3027	13.20
		600	508.0	398.8	601417	15035	34.41	8299	108049	3602	14.58
	728 × 20	400	433.6	340.4	484877	12122	33.44	6826	38449	1922	9.42
		450	469.6	368.6	537448	13436	33.83	7513	54724	2432	10.80
		500 × 36	505.6	396.9	590020	14750	34.16	8201	75049	3002	12.18
		550	541.6	425.2	642591	16065	34.45	8889	99874	3632	13.58
		600	577.6	453.4	695163	17379	34.69	9576	129649	4322	14.98
900	868 × 10	300	182.8	143.5	242068	5379	36.39	3063	7207	480.5	6.28
		350	198.8	156.1	273329	6074	37.08	3417	11441	653.7	7.59
		400 × 16	214.8	168.6	304591	6769	37.66	3771	17074	853.7	8.92
		450	230.8	181.2	335853	7463	38.15	4124	24307	1080	10.26
	860 × 10	300	206.0	161.7	285365	6341	37.22	3565	9007	600.5	6.61
		350	226.0	177.4	324091	7202	37.87	4005	14299	817.1	7.95
		400 × 20	246.0	193.1	362818	8063	38.40	4445	21341	1067	9.31
		450	266.0	208.8	401545	8923	38.85	4885	30382	1350	10.69
	868 × 12	300	200.2	157.1	252967	5621	35.55	3252	7212	480.8	6.00
		350	216.2	169.7	284229	6316	36.26	3605	11446	654.0	7.28
		400 × 16	232.2	182.2	315490	7011	36.86	3959	17079	854.0	8.58
		450	248.2	194.8	346752	7706	37.38	4313	24312	1081	9.90
	860 × 12	300	223.2	175.2	295966	6577	36.41	3749	9012	600.5	6.35
		350	243.2	190.9	334692	7438	37.10	4189	14304	817.4	7.67
		400 × 20	263.2	206.6	373419	8298	37.67	4629	21346	1067	9.01
		450	283.2	222.3	412146	9159	38.15	5069	30387	1351	10.36
		500	303.2	238.0	450872	10019	38.56	5509	41679	1667	11.72
	860 × 16	350	277.6	217.9	355894	7909	35.81	4559	14321	818.3	7.18
		400	297.6	233.6	394621	8769	36.41	4999	21363	1068	8.47
		450 × 20	317.6	249.3	433347	9630	36.94	5439	30404	1351	9.78
		500	337.6	265.0	472074	10491	37.39	5879	41696	1668	11.11
		550	357.6	280.7	510801	11351	37.79	6319	55488	2018	12.46
	850 × 16	400	336.0	263.8	464800	10329	37.19	5820	26696	1335	8.91
		450	361.0	283.4	512665	11393	37.68	6367	37998	1689	10.26
		500 × 25	386.0	303.0	560529	12456	38.11	6914	52112	2084	11.62
		550	411.0	322.6	608394	13520	38.47	7461	69352	2522	12.99
		600	436.0	342.3	656258	14584	38.80	8008	90029	3001	14.37
	840 × 16	450	404.4	317.5	590137	13114	38.20	7284	45591	2026	10.62
		500	434.4	341.0	646927	14376	38.59	7936	62529	2501	12.00
		550 × 30	464.4	364.6	703717	15638	38.93	8589	83216	3026	13.39
		600	494.4	388.1	760507	16900	39.22	9241	108029	3601	14.78
		700	554.4	435.2	874087	19424	39.71	10550	171529	4901	17.59
	840 × 20	450	438.0	343.8	609894	13553	37.32	7636	45619	2027	10.21
		500	468.0	367.4	666684	14815	37.74	8289	62556	2502	11.56
		550 × 30	498.0	390.9	723474	16077	38.12	8941	83244	3027	12.93
		600	528.0	414.5	780264	17339	38.44	9594	108056	3602	14.81
		700	588.0	461.6	893844	19863	38.99	10900	171556	4902	17.08

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
900	828 × 20	450	489.6	384.3	699622	15547	37.80	8712	54730	2432	10.57
		500	525.6	412.6	766846	17041	38.20	9490	75055	3002	11.95
		550 × 36	561.6	440.9	834069	18535	38.54	10270	99880	3632	13.34
		600	597.6	469.2	901293	20029	38.84	11050	129655	4322	14.73
		700	669.6	525.6	1035740	23016	39.33	12600	205855	5582	17.53
	820 × 20	450	523.4	411.3	758015	16845	38.03	9421	60805	2702	10.77
		500	564.0	442.7	832028	18490	38.41	10280	83388	3336	12.16
		550 × 40	604.0	474.1	906041	20134	38.73	11140	110971	4035	13.55
		600	644.0	505.5	980055	21779	39.01	12000	144055	4802	14.96
		700	724.0	568.3	1128081	25068	39.47	13720	228721	6535	17.77
1000	968 × 10	300	192.8	151.3	307989	6160	39.97	3533	7208	480.5	6.11
		350 × 16	208.8	163.9	346722	6934	40.75	3926	11441	653.8	7.40
		400 × 16	224.8	176.5	385456	7709	41.41	4320	17075	853.7	8.72
		450	240.8	189.0	424189	8484	41.97	4714	24308	1080	10.05
	960 × 10	300	216.0	169.6	361888	7238	40.93	4092	9008	600.5	6.46
		350 × 20	236.0	185.3	409915	8198	41.68	4582	14300	817.1	7.78
		400 × 20	256.0	201.0	457941	9159	42.29	5072	21341	1067	9.13
		450	276.0	216.7	505968	10120	42.82	5562	30383	1350	10.49
	962 × 12	300	211.4	166.0	318604	6411	38.82	3735	7214	480.9	5.84
		350 × 16	227.4	178.5	356867	7180	39.61	4127	11447	654.1	7.09
		400 × 16	243.4	191.1	395130	7950	40.29	4518	17081	854.0	8.38
		450	259.4	203.7	433393	8720	40.87	4909	24314	1081	9.68
	960 × 12	300	235.2	184.6	376634	7533	40.02	4322	9014	600.9	6.19
		350	255.2	200.3	424660	8493	40.79	4812	14305	817.5	7.49
		400 × 20	275.2	216.0	472687	9454	41.44	5302	21347	1067	8.81
		450	295.2	231.7	520714	10414	42.00	5792	30389	1351	10.15
		500	315.2	247.4	568740	11375	42.48	6282	41680	1667	11.50
	960 × 16	350	293.6	230.5	454151	9083	39.33	5273	14324	818.5	6.98
		400	313.6	246.2	502178	10044	40.02	5763	21366	1068	8.25
		450 × 20	333.6	261.9	550205	11004	40.61	6253	30408	1351	9.55
		500	353.6	277.6	598231	11965	41.13	6743	41699	1668	10.86
		550	373.6	293.3	646258	12925	41.59	7233	55491	2018	12.19
	950 × 16	400	352.0	276.3	589733	11795	40.93	6680	26699	1335	8.71
		450	377.0	295.9	649160	12983	41.50	7289	38001	1689	10.04
		500 × 25	402.0	315.6	708587	14172	41.98	7899	52116	2085	11.39
		550	427.0	335.2	768015	15360	42.41	8508	69355	2522	12.74
		600	452.0	354.8	827442	16549	42.79	9117	90032	3001	14.11
	940 × 16	450	420.4	330.0	746055	14921	42.13	8315	45595	2026	10.41
		500	450.4	353.6	816645	16333	42.58	9042	62532	2501	11.78
		550 × 30	480.4	377.1	887235	17745	42.98	9770	83220	3026	13.16
		600	510.4	400.7	957825	19156	43.32	10500	108032	3601	14.55
		700	570.4	447.8	1099005	21980	43.89	11950	171532	4901	17.34
	940 × 20	450	458.0	359.5	773741	15475	41.10	8757	45625	2028	9.98
		500	488.0	383.1	844331	16887	41.60	9484	62563	2503	11.32
		500 × 30	518.0	406.6	914921	18298	42.03	10210	83250	3027	12.68
		550	548.0	430.2	985511	19710	42.41	10940	108063	3602	14.04
		600	608.0	477.3	1126691	22534	43.05	12390	171563	4902	16.80
	928 × 20	450	509.6	400.0	886276	17726	41.70	9961	54737	2433	10.36
		500	545.6	428.3	969952	19399	42.16	10830	75062	3002	11.73
		550 × 36	581.6	456.6	1053627	21073	42.56	11700	99887	3632	13.11
		600	617.6	484.8	1137303	22746	42.91	12560	129662	4322	14.49
		700	689.6	541.3	1304654	26093	43.50	14300	205862	5882	17.28

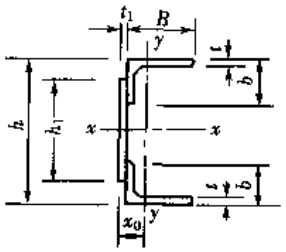
续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1000	920 × 20	450	544.0	427.0	959701	19194	42.00	10760	60811	2703	10.57
		500	584.0	458.4	1051915	21038	42.44	11720	83395	3336	11.95
		550 × 40	624.0	489.8	1144128	22883	42.82	12680	110978	4036	13.34
		600	664.0	521.2	1236341	24727	43.15	13640	144061	4802	14.73
		700	744.0	584.0	1420768	28415	43.70	15560	228728	6535	17.53
1100	1060 × 16	400	287.2	225.5	585715	10649	45.16	6005	21349	1067	8.62
		450	307.2	241.2	644042	11710	45.79	6545	30390	1351	9.95
		500 × 20	327.2	256.9	702368	12770	46.33	7085	41682	1667	11.29
		550	347.2	272.6	760695	13831	46.81	7625	55474	2017	12.64
		600	367.2	288.3	819022	14891	47.23	8165	72015	2401	14.00
	1060 × 16	400	329.6	258.7	625415	11371	43.56	6567	21370	1068	8.05
		450	349.6	274.4	683742	12432	44.22	7107	30411	1352	9.33
		500 × 20	369.6	290.1	742069	13492	44.81	7647	41703	1668	10.62
		550	389.6	305.8	800395	14553	45.33	8187	55495	2018	11.93
		600	409.6	321.5	858722	15613	45.79	8727	72036	2401	13.26
	1050 × 16	450	393.0	308.5	804506	14627	45.24	8252	38005	1689	9.83
		500	418.0	328.1	876746	15941	45.80	8924	52119	2085	11.17
		550 × 25	443.0	347.8	948985	17254	46.28	9596	69359	2522	12.51
		600	468.0	367.4	1021225	18568	46.71	10268	90036	3001	13.87
		700	518.0	406.6	1165704	21195	47.44	11611	142953	4084	16.61
	1040 × 16	500	466.4	366.1	1008882	18343	46.51	10188	62535	2501	11.58
		550	496.4	389.7	1094772	19905	46.96	10991	83223	3026	12.95
		600 × 30	526.4	413.2	1180662	21467	47.36	11793	108035	3601	14.33
		700	586.4	406.3	1352442	24590	48.02	13398	171535	4901	17.10
		800	646.4	507.4	1524222	27713	48.56	15003	256035	6401	19.90
	1040 × 20	500	508.0	398.8	1046377	19025	45.38	10729	62569	2503	11.10
		550	538.0	422.3	1132267	20587	45.88	11532	83257	3028	12.44
		600 × 30	568.0	445.9	1218157	22148	46.31	12334	108069	3602	13.79
		700	628.0	493.0	1389937	25272	47.05	13939	171569	4902	16.53
		800	688.0	540.1	1561717	28395	47.64	15544	256069	6402	19.29
	1028 × 20	500	565.6	444.0	1200338	21824	46.07	12218	75069	3003	11.52
		550	601.6	472.3	1302265	23678	46.53	13176	99894	3632	12.89
		600 × 36	637.6	500.5	1404193	25531	46.93	14133	129669	4322	14.26
		700	709.6	557.0	1608048	29237	47.60	16048	205869	5882	17.03
		800	781.6	613.6	1811903	32944	48.15	17964	307269	7682	19.83
	1020 × 20	500	604.0	474.1	1301001	23655	46.41	13201	83401	3336	11.75
		550	644.0	505.5	1413415	25698	46.85	14261	110985	4036	13.13
		600 × 40	684.0	536.9	1525828	27742	47.23	15321	144068	4802	14.51
		700	768.0	599.7	1750655	31830	47.87	17441	228735	6535	17.30
		800	844.0	662.5	1975481	35918	48.38	19561	341401	8535	20.11
	1028 × 25	500	617.0	484.3	1245603	22647	44.93	12878	75134	3005	11.04
		550	653.0	512.6	1347531	24501	45.43	13836	99959	3635	12.37
		600 × 36	689.0	540.9	1449458	26354	45.87	14794	129734	4324	13.72
		700	761.0	597.4	1653313	30060	46.61	16709	205934	5884	16.45
		800	833.0	653.9	1857168	33767	47.22	18624	307334	7683	19.21
	1020 × 25	500	655.0	514.2	1345218	24459	45.32	13851	83466	3339	11.29
		550	695.0	545.6	1457632	26502	45.80	14911	111049	4038	12.64
		600 × 40	735.0	577.0	1570045	28546	46.22	15971	144133	4804	14.00
		700	815.0	639.8	1794872	32634	46.93	18091	228799	6537	16.76
		800	895.0	702.6	2019698	36722	47.50	20211	341466	8537	19.53

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性						
					$x-x$ 轴				$y-y$ 轴		
h	$h_0 \times t_w$	$b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	S_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
1100	1000 × 25	500	750.0	588.7	1587500	28864	46.01	16250	104297	4172	11.79
		550	800.0	628.0	1725417	31371	46.44	17563	138776	5046	13.17
		600 × 50	850.0	667.3	1863333	33879	46.82	18875	180130	6004	14.56
		700	950.0	745.8	2139167	38894	47.45	21500	285964	8170	17.35
		800	1050.0	824.3	2415000	43909	47.96	24125	426797	10670	20.16
1200	1160 × 12	400	299.2	234.9	713103	11885	48.82	6738	21350	1068	8.45
		450	319.2	250.6	782730	13045	49.52	7328	30392	1351	9.76
		500 × 20	339.2	266.3	852356	14206	50.13	7918	41683	1667	11.09
		550	359.2	282.0	921983	15366	50.66	8508	55475	2017	12.43
		600	379.2	297.7	991610	16527	51.14	9098	72017	2401	13.78
	1160 × 16	400	345.6	271.3	765133	12752	47.05	7411	21373	1069	7.86
		450	365.6	287.0	834759	13913	47.78	8001	30415	1352	9.12
		500 × 20	385.6	302.7	904386	15073	48.43	8591	41706	1668	10.40
		550	405.6	318.4	974013	16234	49.00	9181	55498	2018	11.70
		600	425.6	334.1	1043639	17394	49.52	9771	72040	2401	13.01
	1150 × 16	450	409.0	321.1	979502	16325	48.94	9254	38008	1689	9.64
		500	434.0	340.7	1065804	17763	49.56	9989	51123	2085	10.96
		550 × 25	459.0	360.3	1152106	19202	50.10	10723	69362	2522	12.29
		600	484.0	380.0	1238408	20640	50.58	11458	90039	3001	13.64
		700	534.0	419.2	1411013	23517	51.40	12926	142956	4084	16.36
	1140 × 16	500	482.4	378.7	1224439	20407	50.38	11374	62539	2522	11.39
		550	512.4	402.2	1327129	22119	50.89	12252	83226	3026	12.74
		600 × 30	542.4	425.8	1429819	23830	51.34	13129	108039	3601	14.11
		700	602.4	472.9	1635199	27253	52.10	14884	171539	4901	16.87
		800	662.4	520.0	1840579	30676	52.71	16639	256039	6401	19.66
	1140 × 20	500	528.0	414.5	1273824	21230	49.12	12024	62576	2503	10.89
		550	558.0	438.0	1376514	22942	49.67	12902	83264	3028	12.22
		600 × 30	588.0	461.6	1479204	24653	50.16	13779	108076	3603	13.56
		700	648.0	508.7	1684584	28076	50.99	15534	171576	4902	16.27
		800	708.0	555.8	1889964	31499	51.67	17289	256076	6402	19.02
	1128 × 20	500	585.6	459.7	1459003	24317	49.91	13657	75075	3003	11.32
		550	621.6	488.0	1580983	26350	50.43	14705	99900	3633	12.68
		600 × 36	657.6	516.2	1702962	28383	50.89	15752	129675	4323	14.04
		700	729.6	572.7	1946921	32449	51.66	17847	205875	5882	16.80
		800	801.6	629.3	2190881	36515	52.28	19943	307275	7682	19.58
	1120 × 20	500	624.0	489.8	1580288	26338	50.32	14736	83408	3336	11.56
		550	664.0	521.2	1714901	28582	50.82	15896	110991	4036	12.93
		600 × 40	704.0	552.6	1849515	30825	51.26	17056	144075	4802	14.31
		700	784.0	615.4	2118741	35312	51.99	19376	228741	6535	17.08
		800	864.0	678.2	2387968	39799	52.57	21696	341408	8535	19.88
	1128 × 25	500	642.0	504.0	1518805	25313	48.64	14452	75147	3006	10.82
		550	678.0	532.2	1640785	27346	49.19	15500	99972	3635	12.14
		600 × 36	714.0	560.5	1762764	29379	49.69	16547	129747	4325	13.48
		700	786.0	617.0	2006724	33445	50.53	18643	205947	5884	16.19
		800	858.0	673.5	2250683	37511	51.22	20738	307347	7684	18.93
	1120 × 25	500	680.0	533.8	1638827	27314	49.09	15520	83479	3339	11.08
		550	720.0	565.2	1773440	29557	49.63	16680	111063	4039	12.42
		600 × 40	760.0	596.6	1908053	31801	50.11	17840	144146	4805	13.77
		700	840.0	659.4	2177280	36288	50.91	20160	228813	6537	16.50
		800	920.0	722.2	2446507	40775	51.57	22480	341479	8537	19.27
	1100 × 25	500	775.0	608.4	1931458	32191	49.92	18156	104310	4172	11.60
		550	825.0	647.6	2096875	34948	50.41	19594	138789	5047	12.97
		600 × 50	875.0	686.9	2262292	37705	50.85	21031	180143	6005	14.35
		700	975.0	765.4	2593125	43219	51.57	23906	285977	8171	17.13
		800	1075.0	843.9	2923958	48733	52.15	26781	426810	10670	19.93

(7) 焊接槽形钢的截面特性



I—截面惯性矩；
W—截面模量；
i—截面回转半径。

表 17-7

尺寸 (mm)			截面面积	每米重量	截面特性							
						$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1\times t_1$	$B\times b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	x_0 (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_{ymax} (cm^3)	W_{ymin} (cm^3)	i_y (cm)
400	300×10	125×80×7	58.2	45.7	2.68	11737	586.9	14.20	754.1	280.9	69.7	3.60
		125×80×8	62.0	48.7	2.86	12963	648.1	14.46	837.9	293.7	78.7	3.68
		125×80×10	69.4	54.5	3.13	15339	766.9	14.86	993.4	316.9	95.8	3.78
		125×80×12	76.7	60.2	3.37	17615	880.7	15.15	1138	337.4	112.4	3.85
		140×90×8	66.1	51.9	3.23	14128	706.4	14.62	1143	354.0	97.1	4.16
		140×90×10	74.5	58.5	3.53	16775	838.8	15.00	1356	383.6	118.3	4.27
		140×90×12	82.8	65.0	3.79	19338	966.9	15.28	1555	410.3	138.7	4.33
		140×90×14	90.9	71.4	4.01	21782	1089	15.48	1743	434.5	158.6	4.38
		160×100×10	80.6	63.3	4.10	18558	927.9	15.17	1961	477.6	152.0	4.93
		160×100×12	90.1	70.7	4.38	21432	1072	15.42	2250	513.5	178.3	5.00
		160×100×14	99.4	78.0	4.62	24222	1211	15.61	2524	546.4	203.9	5.04
		160×100×16	108.6	85.2	4.83	26885	1344	15.74	2785	576.9	228.8	5.06
	300×12	125×80×7	64.2	50.4	2.62	12187	609.4	13.78	796.3	303.4	71.9	3.52
		125×80×8	68.0	53.4	2.79	13413	670.6	14.05	885.6	317.2	81.2	3.61
		125×80×10	75.4	59.2	3.08	15789	789.4	14.47	1051	341.6	99.0	3.73
		125×80×12	82.7	64.9	3.32	18065	903.2	14.78	1205	362.9	116.2	3.82
		140×90×8	72.1	56.6	3.15	14578	728.9	14.22	1204	382.0	100.0	4.09
		140×90×10	80.5	63.2	3.46	17225	861.3	14.63	1429	412.6	121.8	4.21
		140×90×12	88.8	69.7	3.73	19788	989.4	14.93	1640	439.9	142.9	4.30
		140×90×14	96.9	76.1	3.96	22232	1112	15.15	1838	464.5	163.4	4.35
		160×100×10	86.6	68.0	4.01	19008	950.4	14.81	2059	513.1	156.2	4.88
		160×100×12	96.1	75.4	4.30	21882	1094	15.09	2363	549.3	183.2	4.96
		160×100×14	105.4	82.8	4.55	24672	1234	15.30	2650	582.4	209.5	5.01
		160×100×16	114.6	89.9	4.77	27335	1367	15.45	2923	612.9	235.1	5.05
	300×16	125×80×7	76.2	59.8	2.58	13087	654.4	13.11	877.1	340.0	76.1	3.39
		125×80×8	80.0	62.8	2.74	14313	715.6	13.38	977.1	356.2	86.0	3.50
		125×80×10	87.4	68.6	3.03	16689	834.4	13.82	1163	384.0	105.0	3.65
		125×80×12	94.7	74.3	3.28	18965	948.2	14.15	1336	407.7	123.4	3.76
		140×90×8	84.1	66.0	3.07	15478	773.9	13.57	1320	429.4	105.4	3.96
		140×90×10	92.5	72.6	3.39	18125	906.3	14.00	1570	463.2	128.6	4.12
		140×90×12	100.8	79.1	3.66	20688	1034	14.33	1803	492.6	151.0	4.23
		140×90×14	108.9	85.5	3.90	23132	1157	14.57	2022	518.8	172.8	4.31
		160×100×10	98.6	77.4	3.90	19908	995.4	14.21	2247	576.0	164.0	4.77
		160×100×12	108.1	84.9	4.20	22782	1139	14.52	2580	613.8	192.5	4.88
		160×100×14	117.4	92.2	4.47	25572	1279	14.76	2894	648.0	220.3	4.96
		160×100×16	126.6	99.4	4.70	28235	1412	14.94	3191	679.3	247.4	5.02

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性							
						$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1\times t_1$	$B\times b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	x_0 (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_{ymax} (cm^3)	W_{ymin} (cm^3)	i_y (cm)
450	350×10	140×90×8	71.1	55.8	3.04	18916	840.7	16.31	1178	387.8	98.5	4.07
		140×90×10	79.5	62.4	3.34	22357	993.6	16.77	1400	418.5	120.1	4.20
		140×90×12	87.8	68.9	3.60	25692	1142	17.11	1607	445.9	141.0	4.28
		140×90×14	95.9	75.3	3.83	28886	1284	17.35	1801	470.6	161.2	4.33
		160×100×10	85.6	67.2	3.89	24683	1097	16.98	2022	519.3	154.3	4.86
		160×100×12	95.1	74.7	4.18	28432	1264	17.29	2322	555.7	181.1	4.94
		160×100×14	104.4	82.0	4.42	32077	1426	17.63	2605	589.2	207.2	5.00
		160×100×16	113.6	89.1	4.64	35569	1581	17.70	2875	620.0	232.5	5.03
		180×110×10	91.7	72.0	4.45	26964	1198	17.14	2799	628.7	192.4	5.52
		180×110×12	102.4	80.4	4.77	31139	1384	17.44	3220	675.6	226.2	5.61
		180×110×14	112.9	88.7	5.03	35206	1565	17.66	3616	719.3	258.8	5.66
		180×110×16	123.3	96.8	5.25	39110	1738	17.81	3994	760.1	290.6	5.69
	350×12	140×90×8	78.1	61.3	2.96	19631	872.5	15.86	1241	419.8	101.4	3.99
		140×90×10	86.5	67.9	3.27	23072	1025	16.33	1476	452.0	123.7	4.13
		140×90×12	94.8	74.4	3.53	26407	1174	16.69	1695	480.3	145.3	4.23
		140×90×14	102.9	80.8	3.76	29600	1316	16.96	1902	505.8	166.3	4.30
		160×100×10	92.6	72.7	3.79	25398	1129	16.56	2125	560.5	158.5	4.79
		160×100×12	102.1	80.2	4.08	29147	1295	16.90	2441	597.6	186.1	4.89
		160×100×14	111.4	87.5	4.34	32792	1457	17.16	2740	631.6	213.0	4.96
		160×100×16	120.6	94.6	4.56	36284	1613	17.35	3023	662.6	239.2	5.01
		180×110×10	98.7	77.5	4.33	27679	1230	16.74	2934	677.7	197.3	5.45
		180×110×12	109.4	85.9	4.65	31853	1416	17.06	3375	725.1	232.0	5.55
		180×110×14	119.9	94.1	4.93	35920	1596	17.31	3789	769.0	265.5	5.62
		180×110×16	130.3	102.3	5.17	39825	1770	17.48	4184	809.7	298.2	5.67
	350×16	140×90×8	92.1	72.3	2.88	21060	936.0	15.12	1360	472.6	106.9	3.84
		140×90×10	100.5	78.9	3.18	24501	1089	15.61	1621	509.2	130.5	4.02
		140×90×12	108.8	85.4	3.45	27836	1237	16.00	1865	540.7	153.5	4.14
		140×90×14	116.9	91.8	3.69	31029	1379	16.29	2096	568.5	175.9	4.23
		160×100×10	106.6	83.7	3.67	26827	1192	15.86	2319	632.3	166.5	4.66
		160×100×12	116.1	91.1	3.97	30576	1359	16.23	2668	672.2	195.7	4.79
		160×100×14	125.4	98.5	4.23	34221	1521	16.52	2996	708.0	224.1	4.89
		160×100×16	134.6	105.6	4.47	37713	1676	16.74	3307	740.5	251.8	4.96
		180×110×10	112.7	88.5	4.17	29108	1294	16.07	3186	764.5	206.4	5.32
		180×110×12	123.4	96.9	4.50	33282	1479	16.42	3668	814.3	243.0	5.45
		180×110×14	133.9	105.1	4.79	37349	1660	16.70	4119	859.7	278.0	5.55
		180×110×16	144.3	113.3	5.05	41254	1834	16.91	4548	901.3	312.5	5.61
500	400×12	160×100×10	98.6	77.4	3.60	32945	1318	18.28	2184	606.9	160.5	4.71
		160×100×12	108.1	84.9	3.89	37688	1508	18.67	2511	645.2	188.7	4.82
		160×100×14	117.4	92.2	4.15	42304	1692	18.98	2820	680.0	216.0	4.90
		160×100×16	126.6	99.4	4.37	46740	1870	19.22	3113	711.8	242.7	4.96

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性							
						$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1\times t_1$	$B\times b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	x_0 (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	$W_{y\max}$ (cm^3)	$W_{y\min}$ (cm^3)	i_y (cm)
500	400×12	180×110×10	104.7	82.2	4.12	35837	1433	18.50	3014	732.2	199.8	5.36
		180×110×12	115.4	90.6	4.44	41123	1645	18.88	3469	780.7	235.1	5.48
		180×110×14	125.9	98.9	4.72	46278	1851	19.17	3897	825.4	269.2	5.56
		180×110×16	136.3	107.0	4.97	51242	2050	19.39	4304	866.8	302.4	5.62
		200×125×12	123.8	97.2	4.97	44634	1785	18.99	4646	934.4	286.3	6.13
		200×125×14	135.7	106.6	5.27	50313	2013	19.25	5225	992.1	327.9	6.20
		200×125×16	147.5	115.8	5.52	55822	2233	19.46	5778	1046	368.6	6.26
		200×125×18	159.1	124.9	5.75	61211	2448	19.62	6308	1096	408.3	6.30
	400×16	160×100×10	114.6	90.0	3.47	35079	1403	17.49	2382	687.0	168.6	4.56
		160×100×12	124.1	97.4	3.76	39821	1593	17.91	2744	729.1	198.4	4.70
		160×100×14	133.4	104.7	4.03	44438	1778	18.25	3086	766.6	227.4	4.81
		160×100×16	142.6	111.9	4.26	48873	1955	18.52	3411	800.5	255.7	4.89
		180×110×10	120.7	94.8	3.94	37971	1519	17.73	3272	829.7	209.0	5.21
		180×110×12	131.4	103.2	4.28	43256	1730	18.14	3772	881.7	246.2	5.36
		180×110×14	141.9	111.2	4.57	48412	1936	18.47	4241	928.7	282.1	5.47
		180×110×16	152.3	119.5	4.82	53375	2135	18.72	4687	971.7	317.2	5.55
		200×125×12	139.8	109.8	4.78	46768	1871	18.29	5025	1051	298.8	5.99
		200×125×14	151.7	119.1	5.09	52446	2098	18.59	5653	1111	342.4	6.10
		200×125×16	163.5	128.3	5.36	57955	2318	18.83	6251	1165	385.0	6.18
		200×125×18	175.1	137.4	5.61	63344	2534	19.02	6823	1217	426.7	6.24
		200×200×14	173.3	136.0	4.75	54466	2179	17.73	5802	1222	344.3	5.79
		200×200×16	188.0	147.6	4.98	60233	2409	17.90	6443	1293	387.7	5.85
		200×200×18	202.6	159.0	5.19	65831	2633	18.03	7060	1360	430.2	5.90
		200×200×20	217.0	170.4	5.38	71322	2853	18.13	7649	1423	471.5	5.94
		200×200×24	245.3	192.6	5.71	81772	3271	18.26	8776	1538	552.2	5.98
	400×20	160×100×10	130.6	102.5	3.42	37212	1488	16.88	2571	752.2	176.3	4.44
		160×100×12	140.1	110.0	3.71	41954	1678	17.30	2967	799.5	207.7	4.60
		160×100×14	149.4	117.3	3.97	46571	1863	17.65	3342	841.0	238.2	4.73
		160×100×16	158.6	124.5	4.21	51007	2040	17.94	3697	878.0	268.1	4.83
		180×110×10	136.7	107.3	3.86	40104	1604	17.13	3515	910.9	217.8	5.07
		180×110×12	147.4	115.7	4.19	45389	1816	17.55	4059	968.1	256.8	5.25
		180×110×14	157.9	124.0	4.48	50545	2022	17.89	4568	1019	294.4	5.38
		180×110×16	168.3	132.1	4.75	55508	2220	18.16	5052	1065	331.2	5.48
		200×125×12	155.8	122.3	4.67	48901	1956	17.72	5382	1153	310.5	5.88
		200×125×14	167.7	131.7	4.99	54580	2183	18.04	6058	1215	356.1	6.01
		200×125×16	179.5	140.9	5.27	60089	2404	18.30	6702	1272	400.6	6.11
		200×125×18	191.1	150.0	5.52	65477	2619	18.51	7318	1325	444.1	6.19
		200×200×14	189.3	148.6	4.73	56600	2264	17.29	6161	1303	356.8	5.71
		200×200×16	204.0	160.2	4.98	62367	2495	17.48	6839	1375	401.7	5.79
		200×200×18	218.6	171.6	5.20	67965	2719	17.63	7491	1441	445.8	5.85
		200×200×20	233.0	182.9	5.39	73455	2939	17.76	8112	1504	488.5	5.90
		200×200×24	261.3	205.1	5.75	83907	3356	17.92	9300	1619	572.2	5.97

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性							
					z_0	$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1\times t_1$	$B\times b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	(cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_{ymax} (cm^3)	W_{ymin} (cm^3)	i_y (cm)
550	450×12	160×100×10	104.6	82.1	3.43	41726	1517	19.97	2235	652.4	162.3	4.62
		160×100×12	114.1	89.6	3.72	47580	1730	20.42	2573	692.0	190.9	4.75
		160×100×14	123.4	96.9	3.97	53284	1938	20.78	2893	727.7	218.7	4.84
		160×100×16	132.6	104.1	4.20	58778	2137	21.06	3196	760.3	245.9	4.91
		180×110×10	110.7	86.9	3.93	45305	1647	20.33	3084	785.7	201.9	5.28
		180×110×12	121.4	95.3	4.25	51835	1885	20.66	3554	835.5	237.8	5.41
		180×110×14	131.9	103.6	4.53	58210	2117	21.00	3995	881.1	272.4	5.50
		180×110×16	142.3	111.7	4.78	64362	2340	21.27	4415	923.2	306.2	5.57
		200×125×12	129.8	101.9	4.77	56226	2045	20.81	4756	997.1	289.5	6.05
		200×125×14	141.7	111.3	5.07	63264	2301	21.13	5351	1056	331.7	6.14
		200×125×16	153.3	120.5	5.33	70104	2549	21.37	5918	1110	373.0	6.21
		200×125×18	165.1	129.6	5.57	76800	2793	21.57	6462	1161	413.3	6.26
	450×16	160×100×10	122.6	96.3	3.29	44763	1628	19.11	2437	740.0	170.4	4.46
		160×100×12	132.1	103.7	3.58	50618	1841	19.57	2812	784.5	200.6	4.61
		160×100×14	141.4	111.0	3.84	56322	2048	19.96	3167	823.9	230.2	4.73
		160×100×16	150.6	118.2	4.08	61815	2248	20.26	3503	859.3	259.0	4.82
		180×110×10	128.7	101.1	3.75	48343	1758	19.38	3348	893.2	211.2	5.10
		180×110×12	139.4	109.4	4.08	54843	1995	19.84	3865	947.7	249.0	5.27
		180×110×14	149.9	117.7	4.37	61248	2227	20.21	4350	996.5	285.6	5.39
		180×110×16	160.3	125.8	4.62	67400	2451	20.51	4811	1041	321.2	5.48
		200×125×12	147.8	116.0	4.56	59263	2155	20.02	5147	1127	302.1	5.90
		200×125×14	159.7	125.4	4.88	66302	2411	20.37	5795	1189	346.5	6.02
		200×125×16	171.5	134.6	5.15	73141	2660	20.65	6412	1245	389.8	6.11
		200×125×18	183.1	143.7	5.40	79837	2903	20.88	7002	1297	432.2	6.18
		200×200×14	181.3	142.3	4.57	69443	2525	19.57	5923	1295	347.9	5.72
		200×200×16	196.0	153.9	4.81	76693	2789	19.78	6579	1367	391.9	5.79
		200×200×18	210.6	165.3	5.03	83745	3045	19.94	7210	1435	435.0	5.85
		200×200×20	225.0	176.6	5.21	90668	3297	20.07	7812	1499	476.7	5.89
		200×200×24	253.3	198.9	5.55	103894	3778	20.25	8964	1614	558.6	5.95
	450×20	160×100×10	140.6	110.4	3.25	47801	1738	18.44	2629	809.8	178.2	4.32
		160×100×12	150.1	117.8	3.53	53655	1951	18.91	3039	860.8	210.1	4.50
		160×100×14	159.4	125.1	3.79	59359	2159	19.30	3428	905.2	241.2	4.64
		160×100×16	168.6	132.3	4.02	64853	2358	19.61	3797	944.6	271.6	4.75
		180×110×10	146.7	115.2	3.66	51380	1868	18.71	3595	981.0	220.0	4.95
		180×110×12	157.4	123.6	3.99	57910	2106	19.18	4157	1042	259.7	5.14
		180×110×14	167.9	131.8	4.28	64285	2338	19.57	4686	1096	298.0	5.28
		180×110×16	178.3	139.9	4.54	70437	2561	19.88	5188	1144	335.5	5.39
		200×125×12	165.8	130.2	4.45	62301	2265	19.38	5511	1239	314.0	5.77
		200×125×14	177.7	139.5	4.76	69339	2521	19.75	6212	1305	360.3	5.91
		200×125×16	189.5	148.7	5.04	76179	2770	20.05	6878	1364	405.6	6.03
		200×125×18	201.1	157.8	5.30	82875	3014	20.30	7516	1419	450.0	6.11

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性							
						$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1\times t_1$	$B\times b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	x_0 (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	$W_{y\max}$ (cm^3)	$W_{y\min}$ (cm^3)	i_y (cm)
550	450×20	200×200×14	199.3	156.4	4.54	72481	2636	19.07	6297	1386	360.7	5.62
		200×200×16	214.0	168.0	4.79	79730	2899	19.30	6993	1460	406.3	5.72
		200×200×18	228.6	179.5	5.01	86782	3156	19.48	7663	1528	451.1	5.79
		200×200×20	243.0	190.8	5.21	93705	3407	19.64	8301	1593	494.5	5.84
		200×200×24	271.3	213.0	5.57	106931	3888	19.85	9520	1709	579.5	5.92
600	500×12	160×100×10	110.6	86.8	3.27	51814	1727	21.64	2281	697.0	163.8	4.54
		160×100×12	120.1	94.3	3.56	58899	1963	22.14	2629	738.0	192.8	4.68
		160×100×14	129.4	101.6	3.82	65807	2194	22.55	2958	774.8	221.1	4.78
		160×100×16	138.6	108.8	4.05	72473	2416	22.87	3271	808.2	248.7	4.86
		180×110×10	116.7	91.6	3.75	56158	1872	21.93	3148	838.5	203.8	5.19
		180×110×12	127.4	100.0	4.08	64065	2136	22.42	3631	889.6	240.2	5.34
		180×110×14	137.9	108.3	4.36	71792	2393	22.81	4085	936.2	275.3	5.44
		180×110×16	148.3	116.4	4.61	79261	2642	23.12	4516	979.0	309.6	5.52
		200×125×12	135.8	106.6	4.59	69440	2315	22.61	4857	1059	292.3	5.98
		200×125×14	147.7	116.0	4.89	77987	2600	22.98	5467	1118	335.1	6.08
		200×125×16	159.5	125.2	5.15	86304	2877	23.26	6048	1174	376.9	6.16
		200×125×18	171.1	134.3	5.39	94452	3148	23.50	6605	1225	417.8	6.21
	500×16	160×100×10	130.6	102.5	3.14	55981	1866	20.70	2486	791.3	171.9	4.36
		160×100×12	140.1	110.0	3.43	63065	2102	21.22	2872	838.5	202.6	4.53
		160×100×14	149.4	115.3	3.68	69974	2332	21.64	3238	879.9	232.6	4.66
		160×100×16	158.6	124.5	3.91	76639	2555	21.98	3586	916.9	262.0	4.76
		180×110×10	136.7	107.3	3.58	60325	2011	21.00	3415	955.0	213.1	5.00
		180×110×12	147.4	115.7	3.90	68232	2274	21.51	3948	1012	251.5	5.18
		180×110×14	157.9	124.0	4.19	75958	2532	21.93	4449	1063	288.5	5.31
		180×110×16	168.3	132.1	4.44	83428	2781	22.27	4925	1109	324.9	5.41
		200×125×12	155.8	122.3	4.37	73607	2454	21.73	5256	1202	305.1	5.81
		200×125×14	167.7	131.7	4.68	82154	2738	22.13	5923	1265	350.1	5.94
		200×125×16	179.5	140.9	4.96	90471	3016	22.45	6558	1323	394.0	6.04
		200×125×18	191.1	150.0	5.21	98619	3287	22.72	7165	1376	437.1	6.12
		200×200×14	189.3	148.6	4.41	86686	2890	21.40	6034	1367	351.1	5.65
		200×200×16	204.0	160.2	4.65	95603	3187	21.64	6704	1440	395.6	5.73
		200×200×18	218.6	171.6	4.87	104291	3476	21.84	7349	1509	439.3	5.80
		200×200×20	233.0	182.9	5.06	112827	3761	22.00	7964	1573	481.6	5.85
		200×200×24	261.3	205.1	5.41	129181	4306	22.23	9141	1690	564.5	5.91
	500×20	160×100×10	150.6	118.2	3.10	60147	2005	19.98	2679	865.1	179.8	4.22
		160×100×12	160.1	125.7	3.37	67232	2241	20.49	3103	920.0	212.1	4.40
		160×100×14	169.4	133.0	3.62	74141	2471	20.92	3504	967.4	243.7	4.55
		160×100×16	178.6	140.2	3.85	80806	2694	12.27	3887	1009	274.7	4.67
		180×110×10	156.7	123.0	3.49	64491	2150	20.28	3664	1049	222.0	4.84
		180×110×12	167.4	131.4	3.81	72399	2413	20.79	4245	1114	262.2	5.04
		180×110×14	177.9	139.7	4.09	80125	2671	21.22	4790	1171	301.1	5.19
		180×110×16	188.3	147.8	4.35	87594	2920	21.57	5310	1221	339.2	5.31

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性							
						$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1\times t_1$	$B\times b\times t$	A (cm^2)	(kg/m)	x_0 (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_{ymax} (cm^3)	W_{ymin} (cm^3)	i_y (cm)
600	500×20	200×125×12	175.8	138.0	4.25	77774	2592	21.03	5627	1323	317.0	5.66
		200×125×14	187.7	147.4	4.56	86320	2877	21.44	6349	1392	364.1	5.82
		200×125×16	199.5	156.6	4.84	94637	3155	21.78	7037	1454	410.1	5.94
		200×125×18	211.1	165.7	5.09	102785	3426	22.07	7695	1511	455.1	6.04
		200×200×14	209.3	164.3	4.37	90853	3028	20.84	6420	1468	364.2	5.54
		200×200×16	224.0	175.9	4.62	99769	3326	21.10	7134	1544	410.5	5.64
		200×200×18	238.6	187.3	4.85	108457	3615	21.32	7820	1614	455.9	5.73
		200×200×20	253.0	198.6	5.05	116993	3900	21.50	8475	1680	499.9	5.79
		200×200×24	281.3	220.6	5.41	133347	4445	21.77	9725	1798	586.2	5.88
700	600×12	160×100×10	122.6	96.3	3.01	76214	2178	24.93	2360	783.7	166.3	4.39
		160×100×12	132.1	103.7	3.29	86115	2460	25.53	2727	827.8	196.1	4.54
		160×100×14	141.4	111.0	3.55	95781	2737	26.02	3074	867.0	225.1	4.66
		160×100×16	150.6	118.2	3.77	105133	3004	26.42	3404	902.2	253.5	4.75
		180×110×10	128.7	101.1	3.46	82316	2352	25.29	3258	941.4	207.0	5.03
		180×110×12	139.4	109.4	3.78	93379	2668	25.88	3766	995.7	244.2	5.20
		180×110×14	149.4	117.7	4.06	104202	2977	26.36	4242	1044	280.2	5.32
		180×110×16	160.3	125.8	4.31	114694	3277	26.75	4696	1089	315.4	5.41
		200×125×12	147.8	116.0	4.26	102037	2887	26.14	5033	1181	297.2	5.84
		200×125×14	159.7	125.4	4.57	113047	3230	26.60	5672	1242	341.0	5.96
		200×125×16	171.5	134.6	4.83	124760	3565	26.97	6281	1299	383.8	6.05
		200×125×18	183.1	143.7	5.08	136246	3893	27.28	6864	1352	425.7	6.12
	600×16	160×100×10	146.6	115.1	2.89	83414	2383	23.85	2567	889.7	174.5	4.18
		160×100×12	156.1	122.5	3.16	93315	2666	24.45	2975	942.4	206.0	4.37
		160×100×14	165.4	129.9	3.40	102981	2942	24.95	3362	988.2	236.8	4.51
		160×100×16	174.6	137.0	3.63	112333	3210	25.37	3730	1029	267.0	4.62
		180×110×10	152.7	119.9	3.29	89516	2558	24.21	3529	1074	216.3	4.81
		180×110×12	163.4	128.3	3.60	100579	2874	24.81	4091	1137	255.6	5.00
		180×110×14	173.9	136.5	3.87	111402	3183	25.31	4619	1192	293.7	5.15
		180×110×16	184.3	144.7	4.12	121894	3483	25.72	5122	1242	330.9	5.27
		200×125×12	171.8	134.9	4.04	108237	3092	25.10	5445	1348	310.0	5.63
		200×125×14	183.7	144.2	4.34	120247	3436	25.58	6146	1415	356.2	5.78
		200×125×16	195.5	153.5	4.62	131960	3770	25.98	6815	1476	401.3	5.90
		200×125×18	207.1	162.5	4.87	143446	4098	26.32	7455	1532	445.5	6.00
		200×200×14	205.3	161.1	4.13	128370	3668	25.01	6230	1508	356.7	5.51
		200×200×16	220.0	172.7	4.37	141173	4034	25.33	6928	1584	402.2	5.61
		200×200×18	234.6	184.2	4.59	153680	4391	25.59	7599	1655	446.8	5.69
		200×200×20	249.0	195.5	4.79	165982	4742	25.82	8240	1721	490.1	5.75
		200×200×24	277.3	217.7	5.14	189654	5419	26.15	9464	1841	575.0	5.84
	600×20	160×100×10	170.6	133.9	2.85	90614	2589	23.04	2764	969.2	182.4	4.02
		160×100×12	180.1	141.4	3.11	100515	2872	23.62	3209	1032	215.5	4.22
		160×100×14	189.4	148.7	3.35	110181	3148	24.12	3634	1086	248.0	4.38
		160×100×16	198.6	155.9	3.56	119533	3415	24.54	4040	1134	279.8	4.51

续表

尺寸（mm）			截面面积	每米重量	截面特性							
						$x-x$ 轴			$y-y$ 轴			
h	$h_1 \times t_1$	$B \times b \times t$	A (cm^2)	(kg/m)	x_0 (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	$W_{y\max}$ (cm^3)	$W_{y\min}$ (cm^3)	i_y (cm)
700	600 × 20	180 × 110 × 10	176.7	138.7	3.21	96716	2763	23.39	3781	1177	225.2	4.63
		180 × 110 × 12	187.4	147.1	3.51	107779	3079	23.98	4393	1251	266.4	4.84
		180 × 110 × 14	197.9	155.4	3.78	118602	3389	24.48	4969	1315	306.3	5.01
		180 × 110 × 16	208.3	163.5	4.03	129094	3688	24.90	5519	1371	345.5	5.15
		200 × 125 × 12	195.8	153.7	3.92	115437	3298	24.28	5823	1486	322.1	5.45
		200 × 125 × 14	207.7	163.1	4.22	127447	3640	24.77	6585	1561	370.3	5.63
		200 × 125 × 16	219.5	172.3	4.49	139160	3976	25.18	7311	1628	417.6	5.77
		200 × 125 × 18	231.1	181.4	4.74	150646	4304	25.53	8008	1690	463.9	5.89
		200 × 200 × 14	229.3	180.0	4.08	135570	3873	24.32	6634	1626	370.2	5.38
		200 × 200 × 16	244.0	191.6	4.32	148373	4239	24.66	7381	1707	417.6	5.50
		200 × 200 × 18	258.6	203.0	4.55	160880	4597	24.94	8100	1781	464.1	5.60
		200 × 200 × 20	273.0	214.3	4.75	173182	4948	25.19	8785	1850	509.2	5.67
		200 × 200 × 24	301.3	236.5	5.12	196854	5624	25.56	10095	1973	597.9	5.79

18 紧固件的规格、尺寸及重量

(1) 半圆头铆钉（粗制）的规格（按 GB/T 863.1—1986）

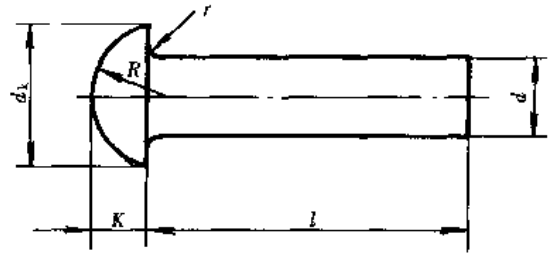


表 18-1

d (mm)	公称	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
	max	12.3	14.3	16.3	18.3	20.35	22.35	24.35	27.35	30.35	36.4
	min	11.7	13.7	15.7	17.7	19.65	21.65	23.65	26.65	29.65	35.6
d_k (mm)	max	22	25	30	33.4	36.4	40.4	44.4	49.4	54.8	63.8
	min	20	23	28	30.6	33.6	37.6	41.6	46.6	51.2	60.2
K (mm)	max	8.5	9.5	10.5	13.3	14.8	16.3	17.8	20.2	22.2	26.2
	min	7.5	8.5	9.5	11.7	13.2	14.7	16.2	17.8	19.8	23.8
r (mm) max		0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
R (mm) ≈		11	12.5	15.5	16.0	18	20	22	26	27	32

l			d									
公称	min	max	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
20	19.35	20.65										
22	21.35	22.65										
24	23.35	24.65										
26	25.35	26.65										
28	27.35	28.65										
30	29.35	30.65										
32	31.2	32.8										
35	34.2	35.8										
38	37.2	38.8										
40	39.2	40.8										
42	41.2	42.8										
45	44.2	45.8										
48	47.2	48.8										
50	49.2	50.8		商 品								
52	51.05	52.95										
55	54.05	55.95										

续表

l			d									
公称	min	max	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
58	57.05	58.95										
60	59.05	60.95										
65	64.05	65.95										
70	69.05	70.95					规 格					
75	74.05	75.95										
80	79.05	80.95										
85	83.9	86.1										
90	88.9	91.1										
95	93.9	96.1								范 围		
100	98.9	101.1										
110	108.9	111.1										
120	118.9	121.1										
130	128.7	131.3										
140	138.7	141.3										
150	148.7	151.3										
160	158.7	161.3										
170	168.7	171.3										
180	178.7	181.3										
190	188.55	191.45										
200	198.55	201.45										

注：尽可能不采用括号内的规格。

(2) 沉头铆钉（粗制）的规格（按 GB/T 865—1986）

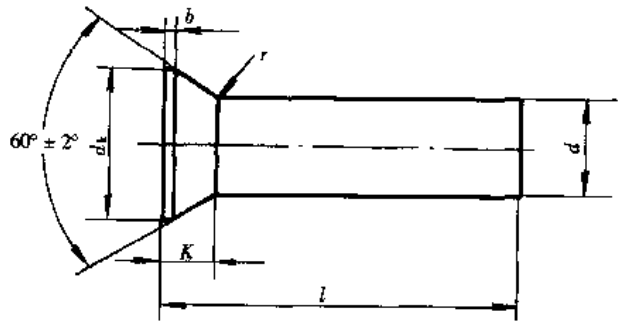


表 18-2

d (mm)	公称	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
	max	12.3	14.3	16.3	18.30	20.35	22.35	24.35	27.35	30.35	36.4
	min	11.7	13.7	15.7	17.7	19.65	21.65	23.65	26.65	29.65	35.6
d_k (mm)	max	19.6	22.5	25.7	29	33.4	37.4	40.4	44.4	51.4	59.8
	min	17.6	20.6	23.7	27	30.6	34.6	37.6	41.6	48.6	56.2
r (mm) max		0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
b (mm) max		0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K (mm) ≈		6	7	8	9	11	12	13	14	17	19

续表

l（mm）			d（mm）									
公称	min	max	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
20	19.35	20.65										
22	21.35	22.65										
24	23.35	24.65										
26	25.35	26.65										
28	27.35	28.65										
30	29.35	30.65										
32	31.2	32.8										
35	34.2	35.8										
38	37.2	38.8										
40	39.2	40.8										
42	41.2	42.8										
45	44.2	45.8		商								
48	47.2	48.8										
50	49.2	50.8			品							
52	51.05	52.95										
55	54.05	55.95				规						
58	57.05	58.95										
60	59.05	60.95					格					
65	64.05	65.95										
70	69.05	70.95						范				
75	74.05	75.95										
80	79.05	80.95							围			
85	83.9	86.1										
90	88.9	91.1										
95	93.9	96.1										
100	98.9	101.1										
110	108.9	111.1										
120	118.9	121.1										
130	128.7	131.3										
140	138.7	141.3										
150	148.7	151.3										
160	158.7	161.3										
170	168.7	171.3										
180	178.7	181.3										
190	188.55	191.45										
200	198.55	201.45										

注：尽可能不采用括号内的规格。

(3) 半沉头铆钉（粗制）的规格（按 GB/T 866—1986）

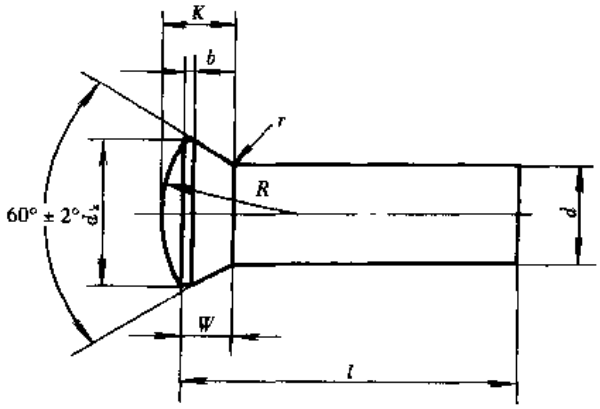


表 18-3

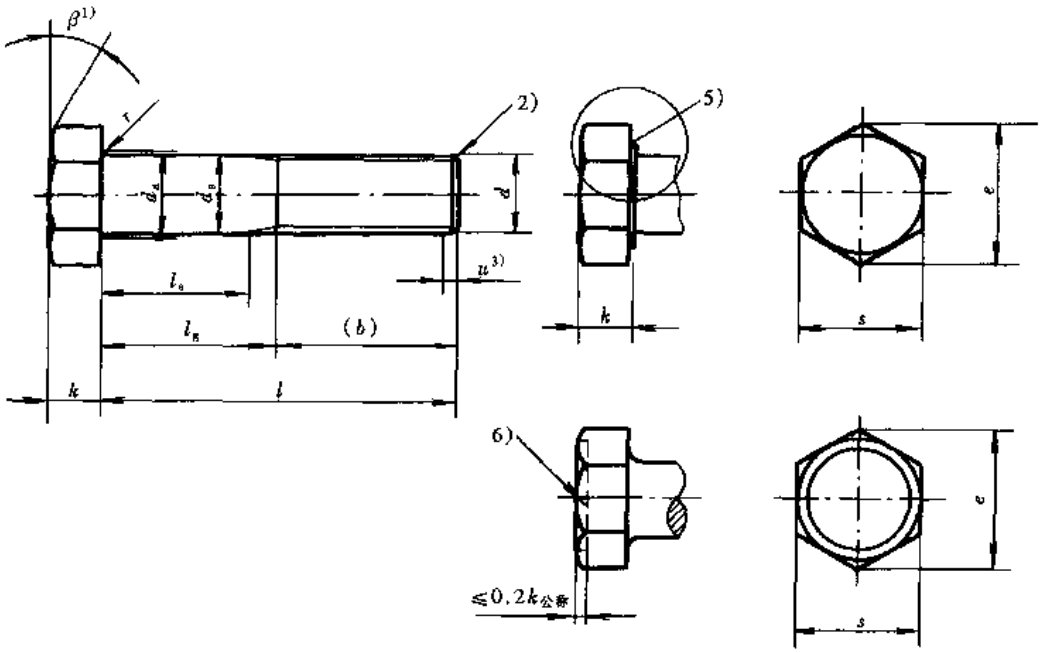
	公称	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
d (mm)	max	12.3	14.3	16.3	18.3	20.35	22.35	24.35	27.35	30.35	36.4
	min	11.7	13.7	15.7	17.7	19.65	21.65	23.65	26.65	29.65	35.6
d_k (mm)	max	19.6	22.5	25.7	29	33.4	37.4	40.4	44.4	51.4	59.8
	min	17.6	20.5	23.7	27	30.6	34.6	37.6	41.6	48.6	56.2
K (mm) ≈		8.8	10.4	11.4	12.8	15.3	16.8	18.3	19.5	23	26
W (mm) ≈		6	7	8	9	11	12	13	14	17	19
r (mm) max		0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
b (mm) max		0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
R (mm) ≈		17.5	19.5	24.7	27.7	32	36	38.5	44.5	55	63.6

续表

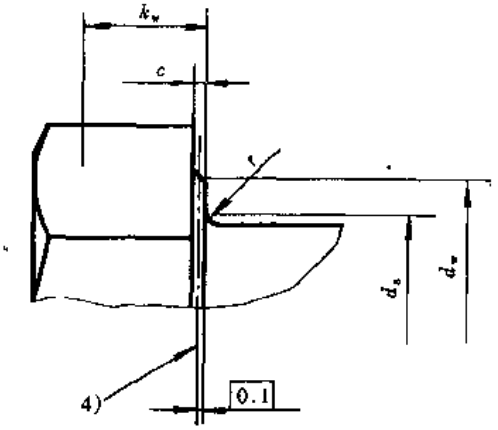
t			d									
公称	min	max	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36
20	19.35	20.65										
22	21.35	22.65										
24	23.35	24.65										
26	25.35	26.65										
28	27.35	28.65										
30	29.35	30.65										
32	31.2	32.8										
35	34.2	35.8										
38	37.2	38.8										
40	39.2	40.8										
42	41.2	42.8										
45	44.2	45.8		通								
48	47.2	48.8										
50	49.2	50.8			用							
52	51.05	52.95										
55	54.05	55.95				规						
58	57.05	58.95										
60	59.05	60.95					格					
65	64.05	65.95										
70	69.05	70.95						范				
75	74.05	75.95										
80	79.05	80.95							围			
85	83.9	86.1										
90	88.9	91.1										
95	93.9	96.1										
100	98.9	101.1										
110	108.9	111.1										
120	118.9	121.1										
130	128.7	131.3										
140	138.7	141.3										
150	148.7	151.3										
160	158.7	161.3										
170	168.7	171.3										
180	178.7	181.3										
190	188.55	191.45										
200	198.55	201.45										

注：尽可能不采用括号内的规格。

(4) 普通C级六角头螺栓的规格（按GB/T 5780—2000）



2.5:1



1) $\beta = 15° \sim 30°$。

2) 无特殊要求的末端。

3) 不完整螺纹的长度 $u \leqslant 2P$。

4) d_w 的仲裁基准。

5) 允许的垫圈面型式。

6) 允许的凹穴型式，由制造者选择。

表 18-4（a）图

1）优选的螺纹规格　　表 18-4a

螺纹规格 d（mm）		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
$P^{1)}$（mm）		0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5
$b_{参考}$（mm）	2)	16	18	22	26	30	38	46
	3)	22	24	28	32	36	44	52
	4)	35	37	41	45	49	57	65
c（mm） max		0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8
d_a（mm） max		6	7.2	10.2	12.2	14.7	18.7	24.4
d_s（mm）	max	5.48	6.48	8.58	10.58	12.7	16.7	20.84
	min	4.52	5.52	7.42	9.42	11.3	15.3	19.16
d_w（mm） min		6.74	8.74	11.47	14.47	16.47	22	27.7
e（mm） min		8.63	10.89	14.2	17.59	19.85	26.17	32.95
k（mm）	公称	3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5
	max	3.875	4.375	5.675	6.85	7.95	10.75	13.4
	min	3.125	3.625	4.925	5.95	7.05	9.25	11.6
$k_w^{5)}$（mm） min		2.19	2.54	3.45	4.17	4.94	6.48	8.12
r（mm） min		0.2	0.25	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8
s（mm）	公称 = max	8.00	10.00	13.00	16.00	18.00	24.00	30.00
	min	7.64	9.64	12.57	15.57	17.57	23.16	29.16
l（mm）		l_s 和 $l_g^{6)}$						

公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
25	23.95	26.05	5	9												
30	28.95	31.05	10	14	7	12		阶梯实线以上的规格推荐采用 GB/T5781								
35	33.75	36.25	15	19	12	17										
40	38.75	41.25	20	24	17	22	11.75	18								
45	43.75	46.25	25	29	22	27	16.75	23	11.5	19						
50	48.75	51.25	30	34	27	32	21.75	28	16.5	24						
55	53.5	56.5			32	37	26.75	33	21.5	29	16.25	25				
60	58.5	61.5			37	42	31.75	38	26.5	34	21.25	30				
65	63.5	66.5					36.75	43	31.5	39	26.25	35	17	27		

续表

螺纹规格 d（mm）			M5		M6		M8		M10		M12		M16		M20	
l（mm）			l_s 和 $l_g^{6)}$													
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
70	68.5	71.5					41.75	48	36.5	44	31.25	40	22	32		
80	78.5	81.5					51.75	58	46.5	54	41.25	50	32	42	21.5	34
90	88.25	91.75							56.5	64	51.25	60	42	52	31.5	44
100	98.25	101.75							66.5	74	61.25	70	52	62	41.5	54
110	108.25	111.75									71.25	80	62	72	51.5	64
120	118.25	121.75									81.25	90	72	82	61.5	74
130	128	132											76	86	65.5	78
140	138	142											86	96	75.5	88
150	148	152											96	106	85.5	98
160	156	164											106	116	95.5	108
180	176	184													115.5	128
200	195.4	204.6													135.5	148
220	215.4	224.6														
240	235.4	244.6														
260	254.8	265.2														
280	274.8	285.2														
300	294.8	305.2														
320	314.3	325.7														
340	334.3	345.7														
360	354.3	365.7														
380	374.3	385.7														
400	394.3	405.7														
420	413.7	426.3														
440	433.7	446.3														
460	453.7	466.3														
480	473.7	486.3														
500	493.7	506.3														

续表

螺纹规格 d（mm）		M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
P[1]（mm）		3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$b_{参考}$（mm）	2)	54	66	—	—	—	—	—
	3)	60	72	84	96	108	—	—
	4)	73	85	97	109	121	137	153
c（mm） max		0.8	0.8	0.8	1	1	1	1
d_a（mm） max		28.4	35.4	42.4	48.6	56.6	67	75
d_s（mm）	max	24.84	30.84	37	43	49	57.2	65.2
	min	23.16	29.16	35	41	47	54.8	62.8
d_w（mm） min		33.25	42.75	51.11	59.95	69.45	78.66	88.16
e（mm） min		39.55	50.85	60.79	71.3	82.6	93.56	104.86
k（mm）	公称	15	18.7	22.5	26	30	35	40
	max	15.9	19.75	23.55	27.05	31.05	36.25	41.25
	min	14.1	17.65	21.45	24.95	28.95	33.75	38.75
k_w[5]（mm） min		9.87	12.36	15.02	17.47	20.27	23.63	27.13
r min		0.8	1	1	1.2	1.6	2	2
s（mm）	公称 = max	36	46	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0
	min	35	45	53.8	63.1	73.1	82.8	92.8
l		l_s 和 l_g[6]						

公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
25	23.95	26.05														
30	28.95	31.05	阶梯实线以上的规格推荐采用 GB/T5781													
35	33.75	36.25														
40	38.75	41.25														
45	43.75	46.25														
50	48.75	51.25														
55	53.5	56.5														
60	58.5	61.5														
65	63.5	66.5														
70	68.5	71.5														
80	78.5	81.5														
90	88.25	91.75														

续表

螺纹规格 d（mm）			M24		M30		M36		M42		M48		M56		M64	
l（mm）			l_s 和 $l_g^{6)}$													
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
100	98.25	101.75	31	46												
110	108.25	111.75	41	56												
120	118.25	121.75	51	66	36.5	54										
130	128	132	55	70	40.5	58										
140	138	142	65	80	50.5	68	36	56								
150	148	152	75	90	60.5	78	46	66								
160	156	164	85	100	70.5	88	56	76								
180	176	184	105	120	90.5	108	76	96	61.5	84						
200	195.4	204.6	125	140	110.5	128	96	116	81.5	104	67	92				
220	215.4	224.6	132	147	117.5	135	103	123	88.5	111	74	99				
240	235.4	244.6	152	167	137.5	155	123	143	108.5	131	94	119	75.5	103		
260	254.8	265.2			157.5	175	143	163	128.5	151	114	139	95.5	123	77	107
280	274.8	285.2			177.5	195	163	183	148.5	171	134	159	115.5	143	97	127
300	294.8	305.2			197.5	215	183	203	168.5	191	154	179	135.5	163	117	147
320	314.3	325.7					203	223	188.5	211	174	199	155.5	183	137	167
340	334.3	345.7					223	243	208.5	231	194	219	175.5	203	157	187
360	354.3	365.7					243	263	228.5	251	214	239	195.5	223	177	207
380	374.3	385.7							248.5	271	234	259	215.5	243	197	227
400	394.3	405.7							268.5	291	254	279	235.5	263	217	247
420	413.7	426.3							288.5	311	274	299	255.5	283	237	267
440	433.7	446.3									294	319	275.5	303	257	287
460	453.7	466.3									314	339	295.5	323	277	307
480	473.7	486.3									334	359	315.5	343	297	327
500	493.7	506.3											335.5	363	317	347

注：商品长度规格由 l_s 和 l_g 确定。

1) P——螺距。

2) $l_{公称} \leqslant 125mm$。

3) $125mm < l_{公称} \leqslant 200mm$。

4) $l_{公称} > 200mm$。

5) $k_w = 0.7k_{min}$。

6) $l_{gmax} = l_{公称} - b$；
$l_{smin} = l_{gmax} - 5P$。

2）非优选的螺纹规格　　表 18-4*b*

螺纹规格 d（mm）		M14	M18	M22	M27	M33
P[1]（mm）		2	2.5	2.5	3	3.5
$b_{参考}$（mm）	2）	34	42	50	60	—
	3）	40	48	56	66	78
	4）	53	61	69	79	91
c（mm） max		0.6	0.8	0.8	0.8	0.8
d_a（mm） max		16.7	21.2	26.4	32.4	38.4
d_s（mm）	max	14.7	18.7	22.84	27.84	34
	min	13.3	17.3	21.16	26.16	32
d_w（mm） min		19.15	24.85	31.35	38	46.55
e（mm） min		22.78	29.56	37.29	45.2	55.37
k（mm）	公称	8.8	11.5	14	17	21
	max	9.25	12.4	14.9	17.9	22.05
	min	8.35	10.6	13.1	16.1	19.95
k_w[5]（mm） min		5.85	7.42	9.17	11.27	13.97
r（mm） min		0.6	0.6	0.8	1	1
s（mm）	公称 = max	21.00	27.00	34	41	50
	min	20.16	26.16	33	40	49

l（mm）			l_s 和 l_g[6]									
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
60	58.5	61.5	16	26								
65	63.5	66.5	21	31		阶梯实线以上的规格推荐采用 GB/T5781						
70	68.5	71.5	26	36								
80	78.5	81.5	36	46	25.5	38						
90	88.25	91.75	46	56	35.5	48	27.5	40				
100	98.25	101.75	56	66	45.5	58	37.5	50				

续表

螺纹规格 d（mm）			M14		M18		M22		M27		M33	
l（mm）			l_s 和 $l_g^{6)}$									
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
110	108.25	111.75	66	76	55.5	68	47.5	60	35	50		
120	118.25	121.75	76	86	65.5	78	57.5	70	45	60		
130	128	132	80	90	69.5	82	61.5	74	49	64	34.5	52
140	138	142	90	100	79.5	92	71.5	84	59	74	44.5	62
150	148	152			89.5	102	81.5	94	69	84	54.5	72
160	156	164			99.5	112	91.5	104	79	94	64.5	82
180	176	184			119.5	132	111.5	124	99	114	84.5	102
200	195.4	204.6					131.5	144	119	134	104.5	122
220	215.4	224.6					138.5	151	126	141	111.5	129
240	235.4	244.6							146	161	131.5	149
260	254.8	265.2							166	181	151.5	167
280	274.8	285.2									171.5	189
300	294.8	305.2									191.5	209
320	314.3	325.7									211.5	229
340	334.3	345.7										
360	354.3	365.7										
380	374.3	385.7										
400	394.3	405.7										
420	413.7	426.3										
440	433.7	446.3										
460	453.7	466.3										
480	473.7	486.3										
500	493.7	506.3										

续表

螺纹规格 d（mm）		M39	M45	M52	M60
P[1]（mm）		4	4.5	5	5.5
$b_{参考}$（mm）	2)	—	—	—	—
	3)	90	102	116	—
	4)	103	115	129	145
c（mm）max		1	1	1	1
d_a（mm）max		45.4	52.6	62.6	71
d_s（mm）	max	40	46	53.2	61.2
	min	38	44	50.8	58.8
d_w（mm）min		55.86	64.7	74.2	83.41
e（mm）min		66.44	76.95	88.25	99.21
k（mm）	公称	25	28	33	38
	min	23.95	26.95	31.75	36.75
	max	26.05	29.05	34.25	39.25
k_w[5]（mm）min		16.77	18.87	22.23	25.73
r（mm）min		1	1.2	1.6	2
s（mm）	公称 = max	60.0	70.0	80.0	90.0
	min	58.8	68.1	78.1	87.8

l（mm）			l_s 和 $l_g^{6)}$							
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
60	58.5	61.5			阶梯实线以上的规格推荐采用 GB/T5781					
65	63.5	66.5								
70	68.5	71.5								
80	78.5	81.5								
90	88.25	91.75								
100	98.25	101.75								

续表

螺纹规格 d（mm）			M39		M45		M52		M60	
l（mm）			l_s 和 $l_g^{6)}$							
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
110	108.25	111.75								
120	118.25	121.75								
130	128	132								
140	138	142								
150	148	152	40	60						
160	156	164	50	70						
180	176	184	70	90	55.5	78				
200	195.4	204.6	90	110	75.5	98	59	84		
220	215.4	224.6	97	117	82.5	105	66	91		
240	235.4	244.6	117	137	102.5	125	86	111	67.5	95
260	254.8	265.2	137	157	122.5	145	106	131	87.5	115
280	274.8	285.2	157	177	142.5	165	126	151	107.5	135
300	294.8	305.2	177	197	162.5	185	146	171	127.5	155
320	314.3	325.7	197	217	182.5	205	166	191	147.5	175
340	334.3	345.7	217	237	202.5	225	186	211	167.5	195
360	354.3	365.7	237	257	222.5	245	206	231	187.5	215
380	374.3	385.7	257	277	242.5	265	226	251	207.5	235
400	394.3	405.7	277	297	262.5	285	246	271	227.5	255
420	413.7	426.3			282.5	305	266	291	247.5	275
440	433.7	446.3			302.5	325	286	311	267.5	295
460	453.7	466.3					306	331	287.5	315
480	473.7	486.3					326	351	307.5	335
500	493.7	506.3					346	371	327.5	355

注：商品长度规格由 l_s 和 l_g 确定。

1）P——螺距。

2）$l_{公称} \leqslant 125mm$。

3）$125mm < l_{公称} \leqslant 200mm$。

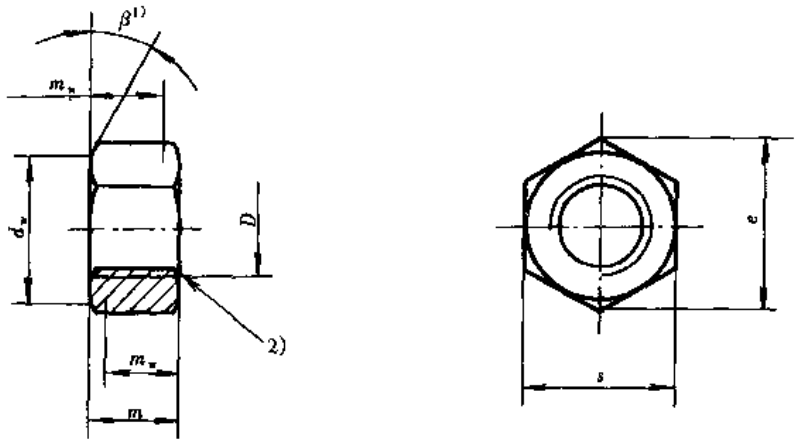
4）$l_{公称} > 200mm$。

5）$k_w = 0.7k_{min}$。

6）$l_{gmax} = l_{公称} - b$；

$l_{smin} = l_{gmax} - 5P$。

(5) 普通C级I型六角螺母的规格（按GB/T 41—2000）



1) $\beta = 15° \sim 30°$。
2) 允许内倒角。

1) 优选的螺纹规格　　表 18-5

螺纹规格 D (mm)		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
$P^{1)}$ (mm)		0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5
d_w (mm) min		6.7	8.7	11.5	14.5	16.5	22	27.7
e (mm) min		8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	26.17	32.95
m (mm)	max	5.6	6.4	7.9	9.5	12.2	15.9	19
	min	4.4	4.9	6.4	8	10.4	14.1	16.9
m_w (mm) min		3.5	3.7	5.1	6.4	8.3	11.3	13.5
s (mm)	公称 = max	8	10	13	16	18	24	30
	min	7.64	9.64	12.57	15.57	17.57	23.16	29.16
螺纹规格 D (mm)		M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
$P^{1)}$ (mm)		3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
d_w (mm) min		33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7	88.2
e (mm) min		39.55	50.85	60.79	71.3	82.6	93.56	104.86
m (mm)	max	22.3	26.4	31.9	34.9	38.9	45.9	52.4
	min	20.2	24.3	29.4	32.4	36.4	43.4	49.4
m_w (mm) min		16.2	19.4	23.2	25.9	29.1	34.7	39.5
s (mm)	公称 = max	36	46	55	65	75	85	95
	min	35	45	53.8	63.1	73.1	82.8	92.8

1) P——螺距。

2）非优选的螺纹规格

螺纹规格 D（mm）		M14	M18	M22	M27	M33	M39	M45	M52	M60
P[1]（mm）		2	2.5	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
d_w（mm）min		19.2	24.9	31.4	38	46.6	55.9	64.7	74.2	83.4
e（mm）min		22.78	29.56	37.29	45.2	55.37	66.44	76.95	88.25	99.21
m（mm）	max	13.9	16.9	20.2	24.7	29.5	34.3	36.9	42.9	48.9
	min	12.1	15.1	18.1	22.6	27.4	31.8	34.4	40.4	46.4
m_w（mm）min		9.7	12.1	14.5	18.1	21.9	25.4	27.5	32.3	37.1
s（mm）	公称 = max	21	27	34	41	50	60	70	80	90
	min	20.16	26.16	33	40	49	58.8	68.1	78.1	87.8

1）P——螺距。

（6）普通 C 级平垫圈的规格（按 GB/T 95—1985）

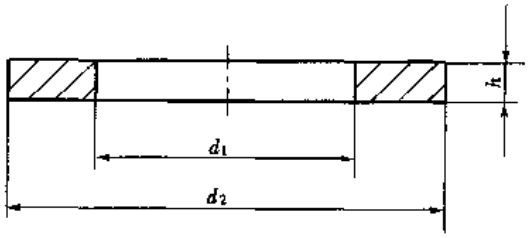
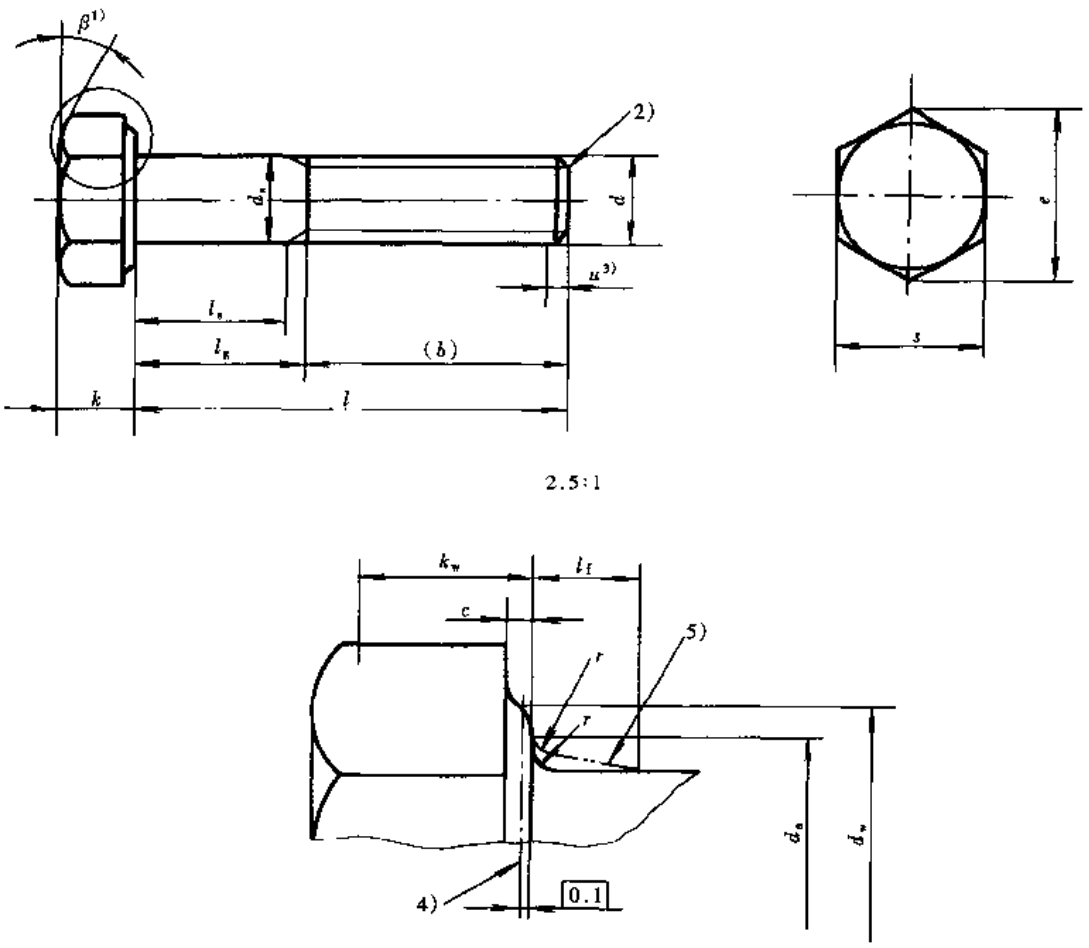


表 18-6

规格（螺纹大径）	内径 d_1（mm）		外径 d_2（mm）		厚度 h（mm）		
	公称（min）	max	公称（max）	min	公称	max	min
5	5.5	5.8	10	9.1	1	1.2	0.8
6	6.6	6.96	12	10.9	1.6	1.9	1.3
8	9	9.36	16	14.9	1.6	1.9	1.3
10	11	11.43	20	18.7	2	2.3	1.7
12	13.5	13.93	24	22.7	2.5	2.8	2.2
14	15.5	15.93	28	26.7	2.5	2.8	2.2
16	17.5	17.93	30	28.7	3	3.6	2.4
20	22	22.52	37	35.4	3	3.6	2.4
24	26	26.52	44	42.4	4	4.6	3.4
30	33	33.62	56	54.1	4	4.6	3.4
36	39	40	66	64.1	5	6	4

(7) 普通A级、B级六角头螺栓的规格（按GB/T 5782—2000）



1) $\beta = 15° \sim 30°$。

2) 末端应倒角，对螺纹规格≤M4可为辗制末端（GB/T2）。

3) 不完整螺纹的长度 $u \leqslant 2P$。

4) d_w 的仲裁基准。

5) 圆滑过渡。

优选的螺纹规格　　表 18-7*a*

螺纹规格 d（mm）		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
$p^{1)}$（mm）		0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5
$b_{参考}$（mm）	2)	9	10	11	12	14	16	18	22	26
	3)	15	16	17	18	20	22	24	28	32
	4)	28	29	30	31	33	35	37	41	45

续表

螺纹规格 d（mm）				M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
c（mm）			max	0.25	0.25	0.25	0.40	0.40	0.50	0.50	0.60	0.60
			min	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
d_a（mm） max				2	2.6	3.1	3.6	4.7	5.7	6.8	9.2	11.2
d_s（mm）	公称 = max			1.60	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00	10.00
	min	产品等级	A	1.46	1.86	2.36	2.86	3.82	4.82	5.82	7.78	9.78
			B	1.35	1.75	2.25	2.75	3.70	4.70	5.70	7.64	9.64
d_w（mm） min		产品等级	A	2.27	3.07	4.07	4.57	5.88	6.88	8.88	11.63	14.63
			B	2.3	2.95	3.95	4.45	5.74	6.74	8.74	11.47	14.47
e（mm） min		产品等级	A	3.41	4.32	5.45	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77
			B	3.28	4.18	5.31	5.88	7.50	8.63	10.89	14.20	17.59
l_f（mm） max				0.6	0.8	1	1	1.2	1.2	1.4	2	2
k（mm）	公称			1.1	1.4	1.7	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4
	产品等级	A	max	1.225	1.525	1.825	2.125	2.925	3.65	4.15	5.45	6.58
			min	0.975	1.275	1.575	1.875	2.675	3.35	3.85	5.15	6.22
		B	max	1.3	1.6	1.9	2.2	3.0	3.26	4.24	5.54	6.69
			min	0.9	1.2	1.5	1.8	2.6	2.35	3.76	5.06	6.11
$k_w^{5)}$（mm） min		产品等级	A	0.68	0.89	1.10	1.31	1.87	2.35	2.70	3.61	4.35
			B	0.63	0.84	1.05	1.26	1.82	2.28	2.63	3.54	4.28
r（mm） min				0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
s（mm）	公称 = max			3.20	4.00	5.00	5.50	7.00	8.00	10.00	13.00	16.00
	min	产品等级	A	3.02	3.82	4.82	5.32	6.78	7.78	9.78	12.73	15.73
			B	2.90	3.70	4.70	5.20	6.64	7.64	9.64	12.57	15.57

l（mm）					l_s 和 $l_g^{6)}$（mm）																	
公称	产品等级																					
	A		B		l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
12	11.65	12.35	—	—	1.2	3																
16	15.65	16.35	—	—	5.2	7	4	6	2.75	5												
20	19.58	20.42	18.95	21.05			8	10	6.75	9	5.5	8										
25	24.58	25.42	23.95	26.05					11.75	14	10.5	13	7.5	11	5	9						
30	29.58	30.42	28.95	31.05							15.5	18	12.5	16	10	14	7	12				
35	34.5	35.5	33.75	36.25									17.5	21	15	19	12	17				
40	39.5	40.5	38.75	41.25									22.5	26	20	24	17	22	11.57	18		
45	44.5	45.5	43.75	46.25											25	29	22	27	16.75	23	11.5	19
50	49.5	50.5	48.75	51.25											30	34	27	32	21.75	28	16.5	24
55	54.4	55.6	53.5	56.5													32	37	26.75	33	21.5	29
60	59.4	60.6	58.5	61.5													37	42	31.75	38	26.5	34
65	64.4	65.6	63.5	66.5															36.75	43	31.5	39
70	69.4	70.6	68.5	71.5															41.75	48	36.5	44
80	79.4	80.6	78.5	81.5															51.75	58	46.5	54
90	89.3	90.7	88.25	91.75																	56.5	64
100	99.3	100.7	98.25	101.75																	66.5	74
110	109.3	110.7	108.25	111.75																		
120	119.3	120.7	118.25	121.75																		

阶梯实线以上的规格推荐采用 GB/T 5783

续表

螺纹规格 d（mm）				M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
P[1]（mm）				1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$b_{参考}$（mm）			2)	30	38	46	54	66	—	—	—	—	—
			3)	36	44	52	60	72	84	96	108	—	—
			4)	49	57	65	73	85	97	109	121	137	153
c（mm）			max	0.60	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
			min	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
d_a（mm） max				13.7	17.7	22.4	26.4	33.4	39.4	45.6	52.6	63	71
d_s（mm）	公称 = max			12.00	16.00	20.00	24.00	30.00	36.00	42.00	48.00	56.00	64.00
	min	产品等级	A	11.73	15.73	19.67	23.67	—	—	—	—	—	—
			B	11.57	15.57	19.48	23.48	29.48	35.38	41.38	47.38	55.26	63.26
d_w（mm） min		产品等级	A	16.63	22.49	28.19	33.61	—	—	—	—	—	—
			B	16.47	22	27.7	33.25	42.75	51.11	59.95	69.45	78.66	88.16
e（mm） min		产品等级	A	20.03	26.75	33.53	39.98	—	—	—	—	—	—
			B	19.85	26.17	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3	82.6	93.56	104.86
l_f（mm） max				3	3	4	4	6	6	8	10	12	13
k（mm）	公称			7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35	40
	产品等级	A	max	7.68	10.18	12.715	15.215	—	—	—	—	—	—
			min	7.32	9.82	12.285	14.785	—	—	—	—	—	—
	产品等级	B	max	7.79	10.29	12.85	15.35	19.12	22.92	26.42	30.42	35.5	40.5
			min	7.21	9.71	12.15	14.65	18.28	22.08	25.58	29.58	34.5	39.5
k_w[5]（mm） min		产品等级	A	5.12	6.87	8.6	10.35	—	—	—	—	—	—
			B	5.05	6.8	8.51	10.26	12.8	15.46	17.91	20.71	24.15	27.65
r（mm） min				0.6	0.6	0.8	0.8	1	1	1.2	1.6	2	2
s（mm）	公称 = max			18.00	24.00	30.00	36.00	46	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0
	min	产品等级	A	17.73	23.67	29.67	35.38	—	—	—	—	—	—
			B	17.57	23.16	29.16	35.00	45	53.8	63.1	73.1	82.8	92.8

续表

螺纹规格 d（mm）					M12		M16		M20		M24		M30		M36		M42		M48		M56		M64	
l（mm）					l_s和$l_g^{6)}$（mm）																			
公称	产品等级																							
	A		B		l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g	l_s	l_g
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
50	49.5	50.5	—	—	11.25	20																		
55	54.4	55.6	53.5	56.5	16.25	25																		
60	59.4	60.6	58.5	61.5	21.25	30																		
65	64.4	65.6	63.5	66.5	26.25	35	17	27																
70	69.4	70.6	68.5	71.5	31.25	40	22	32																
80	79.4	80.6	78.5	81.5	41.25	50	32	42	21.5	34														
90	89.3	90.7	88.25	91.75	51.25	60	42	52	31.5	44	21	36												
100	99.3	100.7	98.25	101.75	61.25	70	52	62	41.5	54	31	46												
110	109.3	110.7	108.25	111.75	71.25	80	62	72	51.5	64	41	56	26.5	44										
120	119.3	120.7	118.25	121.75	81.25	90	72	82	61.5	74	51	66	36.5	54										
130	129.2	130.8	128	132			76	86	65.5	78	55	70	40.5	58										
140	139.2	140.8	138	142			86	96	75.5	88	65	80	50.5	68	36	56								
150	149.2	150.8	148	152			96	106	85.5	98	75	90	60.5	78	46	66								
160	—	—	158	162			106	116	95.5	108	85	100	70.5	88	56	76	41.5	64						
180	—	—	178	182					115.5	128	105	120	90.5	108	76	96	61.5	84	47	72				
200	—	—	197.7	202.3					135.5	148	125	140	110.5	128	96	116	81.5	104	67	92				
220			217.7	222.3							132	147	117.5	135	103	123	88.5	111	74	99	55.5	83		
240	—	—	237.7	242.3							152	167	137.5	155	123	143	108.5	131	94	119	75.5	103		
260	—	—	257.4	262.6									157.5	175	143	163	128.5	151	114	139	95.5	123	77	107
280	—	—	277.4	282.6									177.5	195	163	183	148.5	171	134	159	115.5	143	97	127
300	—	—	297.4	302.6									197.5	215	183	203	168.5	191	154	179	135.5	163	117	147
320	—	—	317.15	322.85											203	223	188.5	211	174	199	155.5	183	137	167
340	—	—	337.15	342.85											223	243	208.5	231	194	219	175.5	203	157	187
360	—	—	357.15	362.85											243	263	228.5	251	214	239	195.5	223	177	207
380	—	—	377.15	382.85													248.5	271	234	259	215.5	243	197	227
400	—	—	397.15	402.85													268.5	291	254	279	235.5	263	217	247
420	—	—	416.85	423.15													288.5	311	274	299	255.5	283	237	267
440	—	—	436.85	443.15													308.5	331	294	319	275.5	303	257	287
460	—	—	456.85	463.15															314	339	295.5	323	277	307
480	—	—	476.85	483.15															334	359	315.5	343	297	327
500	—	—	496.85	503.15																	335.5	363	317	347

注

1 商品长度规格由 l_s 和 l_g 确定。

2 阶梯虚线以上的为 A 级产品；以下的为 B 级产品。

1) P——螺距。

2) $l_{公称} \leq 125mm$。

3) $125mm < l_{公称} \leq 200mm$。

4) $l_{公称} > 200mm$。

5) $k_{smin} = 0.7k_{min}$。

6) $l_{gmax} = l_{公称} - b$；

$l_{smin} = l_{gmax} - 5P$。

非优选的螺纹规格　　表 18-7*b*

螺纹规格 d（mm）				M3.5	M14	M18	M22	M27
P[1]（mm）				0.6	2	2.5	2.5	3
$b_{参考}$（mm）			2)	13	34	42	50	60
			3)	19	40	48	56	66
			4)	32	53	61	69	79
c（mm）			max	0.40	0.60	0.8	0.8	0.8
			min	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2
d_a（mm）			max	4.1	15.7	20.2	24.4	30.4
d_s（mm）	公称 = max			3.50	14.00	18.00	22.00	27.00
	min	产品等级	A	3.32	13.73	17.73	21.67	—
			B	3.20	13.57	17.57	21.48	26.48
d_w（mm）	min	产品等级	A	5.07	19.64	25.34	31.71	—
			B	4.95	19.15	24.85	31.35	38
e（mm）	min	产品等级	A	6.58	23.36	30.14	37.72	—
			B	6.44	22.78	29.56	37.29	45.2
l_f（mm）			max	1	3	3	4	6
k（mm）	公称			2.4	8.8	11.5	14	17
	产品等级	A	max	2.525	8.98	11.715	14.215	—
			min	2.275	8.62	11.285	13.785	—
		B	max	2.6	9.09	11.85	14.35	17.35
			min	2.2	8.51	11.15	13.65	16.65
k_w[5]（mm）	min	产品等级	A	1.59	6.03	7.9	9.65	—
			B	1.54	5.96	7.81	9.56	11.66
r（mm）			min	0.1	0.6	0.6	0.8	1
s（mm）	公称 = max			6.00	21.00	27.00	34.00	41
	min	产品等级	A	5.82	20.67	26.67	33.38	—
			B	5.70	20.16	26.16	33.00	40

续表

螺纹规格 d（mm）					M3.5		M14		M18		M22		M27	
公称 l	产品等级				l_s 和 $l_g^{6)}$									
	A		B		l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
	min	max	min	max										
20	19.58	20.42			4	7								
25	24.58	25.42	—	—	9	12								
30	29.58	30.42	—	—	14	17								
35	34.5	35.5	—	—	19	22								
40	39.5	40.5	38.75	41.25			阶梯实线以上的规格推荐采用 GB/T 5783							
45	44.5	45.5	43.75	46.25										
50	49.5	50.5	48.75	51.25										
55	54.4	55.6	53.5	56.5										
60	59.4	60.6	58.5	61.5			16	26						
65	64.4	65.6	63.5	66.5			21	33						
70	69.4	70.6	68.5	71.5			26	36	15.5	28				
80	79.4	80.6	78.5	81.5			36	46	25.5	38				
90	89.3	90.7	88.25	91.75			46	56	35.5	48	27.5	40		
100	99.3	100.7	98.25	101.75			56	66	45.5	58	37.5	50	25	40
110	109.3	110.7	108.25	111.75			66	76	55.5	68	47.5	60	35	50
120	119.3	120.7	118.25	121.75			76	86	65.5	78	57.5	70	45	60
130	129.2	130.8	128	132			80	90	69.5	82	61.5	74	49	64
140	139.2	140.8	138	142			90	100	79.5	92	71.5	84	59	74
150	149.2	150.8	148	152					89.5	102	81.5	94	69	84
160	—	—	158	162					99.5	112	91.5	104	79	94
180	—	—	178	182					119.5	132	111.5	124	99	114
200	—	—	197.7	202.3							131.5	144	119	134
220	—	—	217.7	222.3							138.5	151	126	141
240	—	—	237.7	242.3									146	161
260	—	—	257.4	262.6									166	181

续表

螺纹规格 d（mm）				M33	M39	M45	M52	M60
$P^{1)}$（mm）				3.5	4	4.5	5	5.5
$b_{参考}$（mm）			2)	—	—	—	—	—
			3)	78	90	102	116	—
			4)	91	103	115	129	145
c（mm）			max	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
			min	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
d_a（mm）			max	36.4	42.4	48.6	56.6	67
d_b（mm）	公称 = max			33.0	39.00	45.00	52.00	60.00
	min	产品等级	A	—	—	—	—	—
			B	32.38	38.38	44.38	51.26	59.26
d_w（mm）	min	产品等级	A	—	—	—	—	—
			B	46.55	55.86	64.7	74.2	83.41
e（mm）	min	产品等级	A	—	—	—	—	—
			B	55.37	66.44	76.95	88.25	99.21
l_f（mm）			max	6	6	8	10	12
k（mm）	公称			21	25	28	33	38
	产品等级	A	max	—	—	—	—	—
			min	—	—	—	—	—
		B	max	21.42	25.42	28.42	33.5	38.5
			min	20.58	24.58	27.58	32.5	37.5
$k_w^{5)}$（mm）	min	产品等级	A	—	—	—	—	—
			B	14.41	17.21	19.31	22.75	26.25
r（mm）			min	1	1	1.2	1.6	2
s（mm）	公称 = max			50	60.0	70.0	80.0	90.0
	min	产品等级	A	—	—	—	—	—
			B	49	58.8	68.1	78.1	87.8

续表

螺纹规格 d（mm）					M33		M39		M45		M52		M60	
l（mm）					l_s 和 $l_g^{6)}$（mm）									
公称	产品等级													
	A		B		l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
	min	max	min	max										
130	129.2	130.8	128	132	34.5	52								
140	139.2	140.8	138	142	44.5	62								
150	149.2	150.8	148	152	54.5	72	40	60						
160	—	—	158	162	64.5	82	50	70						
180	—	—	178	182	84.5	102	70	90	55.5	78				
200	—	—	197.7	202.3	104.5	122	90	110	75.5	98	59	84		
220	—	—	217.7	222.3	111.5	129	97	117	82.5	105	66	91		
240	—	—	237.7	242.3	131.5	149	117	137	102.5	125	86	11	67.5	95
260	—	—	257.4	262.6	151.5	169	137	157	122.5	145	106	131	87.5	115
280	—	—	277.4	282.6	171.5	189	157	177	142.5	165	126	151	107.5	135
300	—	—	297.4	302.6	191.5	209	177	197	162.5	185	146	171	127.5	155
320	—	—	317.15	322.85	211.5	229	197	217	182.5	205	166	191	147.5	175
340	—	—	337.15	342.85			217	237	202.5	225	186	211	167.5	195
360	—	—	357.15	362.85			237	257	222.5	245	206	231	187.5	215
380	—	—	377.15	382.85			257	277	242.5	265	226	251	207.5	235
400	—	—	397.15	402.85					262.5	285	246	271	227.5	255
420	—	—	416.85	423.15					282.5	305	266	291	247.5	275
440	—	—	436.85	443.15					302.5	325	286	311	267.5	295
460	—	—	456.85	463.15							306	331	287.5	315
480	—	—	476.85	483.15							326	351	307.5	335
500	—	—	496.85	503.15									327.5	355

阶梯实线以上的规格推荐采用GB/T5783

注

1 商品长度规格由 l_s 和 l_g 确定。

2 阶梯虚线以上的为 A 级产品；以下的为 B 级产品。

1) P——螺距。

2) $l_{公称} \leqslant 125mm$。

3) $125mm < l_{公称} \leqslant 200mm$。

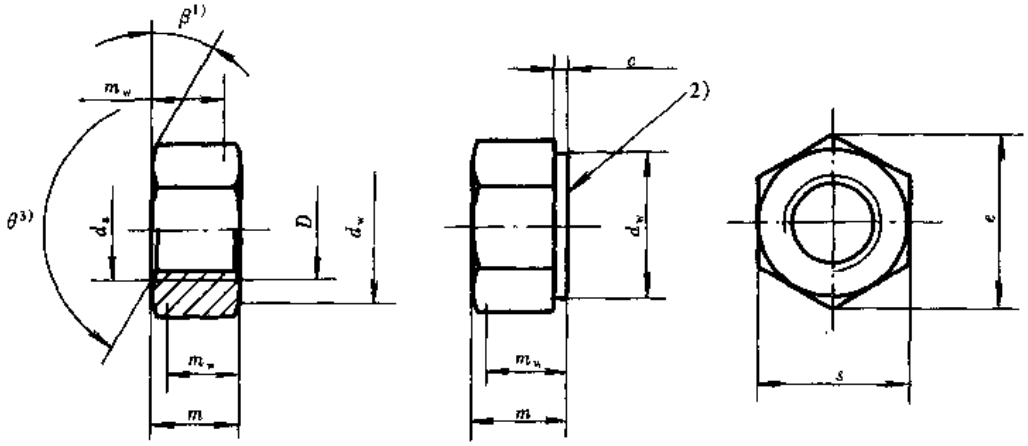
4) $l_{公称} > 200mm$。

5) $k_{wmin} = 0.7k_{min}$。

6) $l_{gmax} = l_{公称} - b$；

$l_{smin} = l_{gmax} - 5P$。

(8) 普通A级、B级1型六角螺母的规格（按GB/T 6170—2000）



1) $\beta = 15° \sim 30°$。

2) 垫圈面型，应在订单中注明。

3) $\theta = 90° \sim 120°$。

优选的螺纹规格　　表 18-8*a*

螺纹规格 D (mm)		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
P[1] (mm)		0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75
c (mm)	max	0.2	0.2	0.3	0.40	0.40	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60
	min	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
d_a (mm)	max	1.84	2.3	2.9	3.45	4.6	5.75	6.75	8.75	10.8	13
	min	1.60	2.0	2.5	3.00	4.0	5.00	6.00	8.00	10.0	12
d_w (mm)	min	2.4	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6	16.6
e (mm)	min	3.41	4.32	5.45	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03
m (mm)	max	1.30	1.60	2.00	2.40	3.2	4.7	5.2	6.80	8.40	10.80
	min	1.05	1.35	1.75	2.15	2.9	4.4	4.9	6.44	8.04	10.37
m_w (mm)	min	0.8	1.1	1.4	1.7	2.3	3.5	3.9	5.2	6.4	8.3
s (mm)	公称 = max	3.20	4.00	5.00	5.50	7.00	8.00	10.00	13.00	16.00	18.00
	min	3.02	3.82	4.82	5.32	6.78	7.78	9.78	12.73	15.73	17.73

螺纹规格 D (mm)		M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
P[1] (mm)		2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
c (mm)	max	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
	min	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
d_a (mm)	max	17.3	21.6	25.9	32.4	38.9	45.4	51.8	60.5	69.1
	min	16.0	20.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	56.0	64.0
d_w (mm)	min	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7	88.2
e (mm)	min	26.75	32.95	39.55	50.85	60.79	71.3	82.6	93.56	104.86
m (mm)	max	14.8	18.0	21.5	25.6	31.0	34.0	38.0	45.0	51.0
	min	14.1	16.9	20.2	24.3	29.4	32.4	36.4	43.4	49.1
m_w (mm)	min	11.3	13.5	16.2	19.4	23.5	25.9	29.1	34.7	39.3
s (mm)	公称 = max	24.00	30.00	36	46	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0
	min	23.67	29.16	35	45	53.8	63.1	73.1	82.8	92.8

1) P——螺距。

非优选的螺纹规格 表 18-8b

螺纹规格 D (mm)		M3.5	M14	M18	M22	M27	M33	M39	M45	M52	M60
P[1] (mm)		0.6	2	2.5	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
c	max	0.40	0.60	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
(mm)	min	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
d_a	max	4.0	15.1	19.5	23.7	29.1	35.6	42.1	48.6	56.2	64.8
(mm)	min	3.5	14.0	18.0	22.0	27.0	33.0	39.0	45.0	52.0	60.0
d_w (mm)	min	5	19.6	24.9	31.4	38	46.6	55.9	64.7	74.2	83.4
e (mm)	min	6.58	23.36	29.56	37.29	45.2	55.37	66.44	76.95	88.25	99.21
m	max	2.80	12.8	15.8	19.4	23.8	28.7	33.4	36.0	42.0	48.0
(mm)	min	2.55	12.1	15.1	18.1	22.5	27.4	31.8	34.4	40.4	46.4
m_w (mm)	min	2	9.7	12.1	14.5	18	21.9	25.4	27.5	32.3	37.1
s	公称 = max	6.00	21.00	27.00	34	41	50	60.0	70.0	80.0	90.0
(mm)	min	5.82	20.67	26.16	33	40	49	58.8	68.1	78.1	87.8

1) P——螺距。

(9) 普通 A 级平垫圈、A 级平垫圈（倒角型）的规格（按 GB/T 97.1—1985、GB/T 97.2—1985）

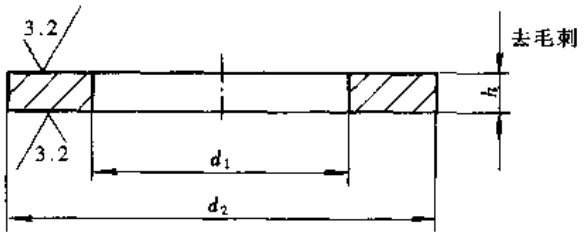


表 18-9a

规格 (螺纹大径)	内径 d_1		外径 d_2		厚度 h		
	公称 (min)	max	公称 (max)	min	公称	max	min
1.6	1.7	1.84	4	3.7	0.3	0.35	0.25
2	2.2	2.34	5	4.7	0.3	0.35	0.25
2.5	2.7	2.84	6	5.7	0.5	0.55	0.45
3	3.2	3.38	7	6.64	0.5	0.55	0.45
4	4.3	4.48	9	8.64	0.8	0.9	0.7
5	5.3	5.48	10	9.64	1	1.1	0.9
6	6.4	6.62	12	11.57	1.6	1.8	1.4
8	8.4	8.62	16	15.57	1.6	1.8	1.4
10	10.5	10.77	20	19.48	2	2.2	1.8
12	13	13.27	24	23.48	2.5	2.7	2.3
14	15	15.27	28	27.48	2.5	2.7	2.3
16	17	17.27	30	29.48	3	3.3	2.7
20	21	21.33	37	36.38	3	3.3	2.7
24	25	25.33	44	43.38	4	4.3	3.7
30	31	31.39	56	55.26	4	4.3	3.7
36	37	37.62	66	64.8	5	5.6	4.4

普通A级平垫圈（倒角型）的规格（按GB/T 97.2—1985）

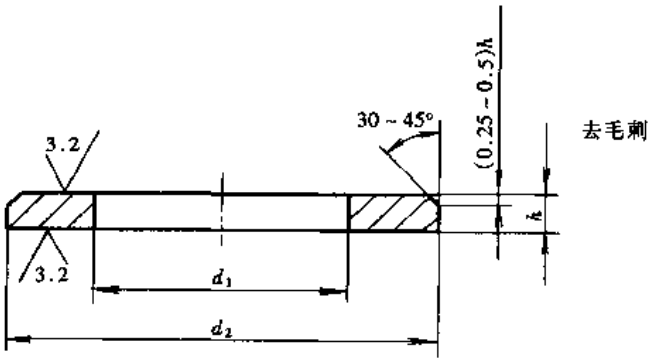


表 18-9*b*

规　格 （螺纹大径）	内　径，d_1		外　径，d_2		厚　度，h		
	公称（min）	max	公称（max）	min	公称	max	min
5	5.3	5.48	10	9.64	1	1.1	0.9
6	6.4	6.62	12	11.57	1.6	1.8	1.4
8	8.4	8.62	16	15.57	1.6	1.8	1.4
10	10.5	10.77	20	19.48	2	2.2	1.8
12	13	13.27	24	23.48	2.5	2.7	2.3
14	15	15.27	28	27.48	2.5	2.7	2.3
16	17	17.27	30	29.48	3	3.3	2.7
20	21	21.33	37	36.38	3	3.3	2.7
24	25	25.33	44	43.38	4	4.3	3.7
30	31	31.39	56	55.26	4	4.3	3.7
36	37	37.62	66	64.8	5	5.6	4.4

(10) 钢结构用高强度大六角头螺栓的规格（按 GB/T 1228—1991）

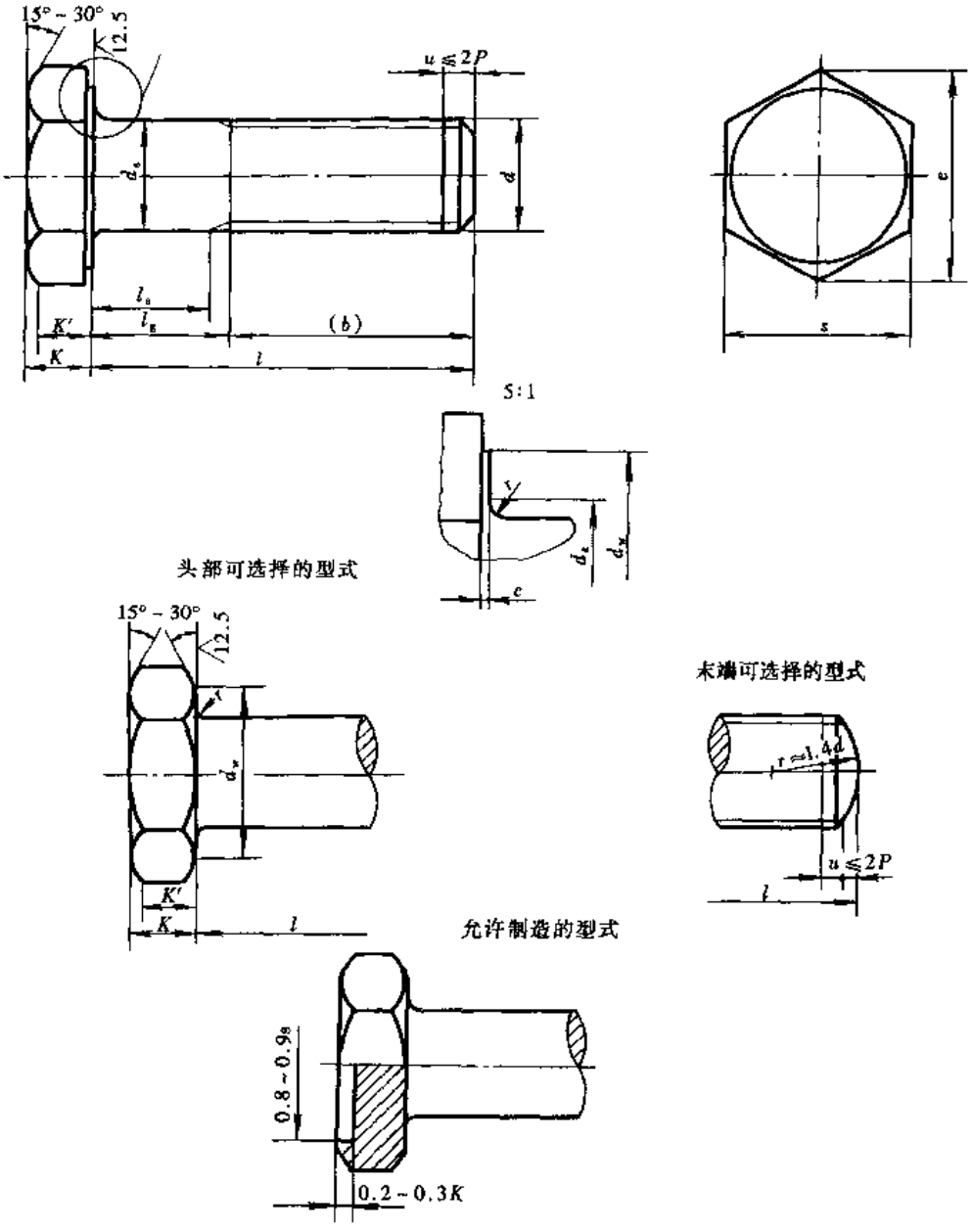


表 18-10

螺纹规格 d (mm)		M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
P (mm)		1.75	2	2.5	2.5	3	3	3.5
c (mm)	max	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	min	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
d_a (mm)	max	15.23	19.23	24.32	26.32	28.32	32.84	35.84
d_s (mm)	max	12.43	16.43	20.52	22.52	24.52	27.84	30.84
	min	11.57	15.57	19.48	21.48	23.48	26.16	29.16

续表

螺纹规格 d（mm）		M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
d_w（mm）	min	19.2	24.9	31.4	33.3	38.0	42.8	46.5
e（mm）	min	22.78	29.56	37.29	39.55	45.20	50.85	55.37
K（mm）	公称	7.5	10	12.5	14	15	17	18.7
	max	7.95	10.75	13.40	14.90	15.90	17.90	19.75
	min	7.05	9.25	11.60	13.10	14.10	16.10	17.65
K'（mm）	min	4.9	6.5	8.1	9.2	9.9	11.3	12.4
r（mm）	min	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0
S（mm）	max	21	27	34	36	41	46	50
	min	20.16	26.16	33	35	40	45	49

l（mm）			无螺纹杆部长度 l_s 和夹紧长度 l_g 螺纹规格 d（mm）													
			M12		M16		M20		(M22)		M24		(M27)		M30	
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max
35	33.75	36.25	4.8	10												
40	38.75	41.25	9.8	15												
45	43.75	46.25	9.8	15	9	15										
50	48.75	51.25	14.8	20	14	20	7.5	15								
55	53.5	56.5	19.8	25	14	20	12.5	20	7.5	15						
60	58.5	61.5	24.8	30	19	25	17.5	25	12.5	20	6	15				
65	63.5	66.5	29.8	35	24	30	17.5	25	17.5	25	11	20	6	15		
70	68.5	71.5	34.8	40	29	35	22.5	30	17.5	25	16	25	11	20	4.5	15
75	73.5	76.5	39.8	45	34	40	27.5	35	22.5	30	16	25	16	25	9.5	20
80	78.5	81.5			39	45	32.5	40	27.5	35	21	30	16	25	14.5	25
85	83.25	86.75			44	50	37.5	45	32.5	40	26	35	21	30	14.5	25
90	88.25	91.75			49	55	42.5	50	37.5	45	31	40	26	35	19.5	30
95	93.25	96.75			54	60	47.5	55	42.5	50	36	45	31	40	24.5	35
100	98.25	101.75			59	65	52.5	60	47.5	55	41	50	36	45	29.5	40
110	108.25	111.75			69	75	62.5	70	57.5	65	51	60	46	55	39.5	50
120	118.25	121.75			79	85	72.5	80	67.5	75	61	70	56	65	49.5	60
130	128	132			89	95	82.5	90	77.5	85	71	80	66	75	59.5	70
140	138	142					92.5	100	87.5	95	81	90	76	85	69.5	80
150	148	152					102.5	110	97.5	105	91	100	86	95	79.5	90
160	156	164					112.5	120	107.5	115	101	110	96	105	89.5	100
170	166	174							117.5	125	111	120	106	115	99.5	110
180	176	184							127.5	135	121	130	116	125	109.5	120
190	185.4	194.6							137.5	145	131	140	126	135	119.5	130
200	195.4	204.6							147.5	155	141	150	136	145	129.5	140
220	215.4	224.6							167.5	175	161	170	156	165	149.5	160
240	235.4	244.6									181	190	179	185	169.5	180
260	254.8	265.2											196	205	189.5	200

注：1. 括号内的规格为第二选择系列。

2. $l_{gmax} = l_{公称} - (b)_{参考}$；

$l_{smin} = l_{gmax} - 3P$。

续表

l (mm)	螺纹规格 d (mm)							螺纹规格 d (mm)						
	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
公称尺寸	(b)							每1000个钢螺栓的理论质量 kg						
35	25							49.4						
40								54.2						
45		30						57.8	113.0					
50								62.5	121.3	207.3				
55			35					67.3	127.9	220.3	269.3			
60	30			40				72.1	136.2	233.3	284.9	357.2		
65					45			76.8	144.5	243.6	300.5	375.7	503.2	
70						50		81.6	152.8	256.5	313.2	394.2	527.1	658.2
75							55	86.3	161.2	269.5	328.9	409.1	551.0	607.5
80									169.5	282.5	344.5	428.6	570.2	716.8
85		35							177.8	295.5	360.1	446.1	594.1	740.3
90									186.4	308.5	375.8	464.7	617.9	769.6
95			40						194.4	321.4	391.4	483.2	641.8	799.0
100									202.8	334.4	407.0	501.7	665.7	828.3
110									219.4	360.4	438.3	538.8	713.5	886.9
120				45					236.1	386.3	469.6	575.9	761.3	945.6
130					50				252.7	412.3	500.8	612.9	809.1	1004.2
140						55				438.3	532.1	650.0	856.9	1062.8
150							60			464.2	563.4	687.1	904.7	1121.5
160										490.2	594.6	724.2	952.4	1180.1
170											625.9	761.2	1000.2	1238.7
180											657.2	798.3	1048.0	1297.4
190											688.4	835.4	1095.8	1356.0
200											719.7	872.4	1143.6	1414.7
220											782.2	946.6	1239.2	1531.9
240												1020.7	1334.7	1649.2
260													1430.3	1766.5

注：括号内的规格为第二选择系列。

(11) 钢结构用高强度大六角螺母的规格(按 GB/T 1229—1991)

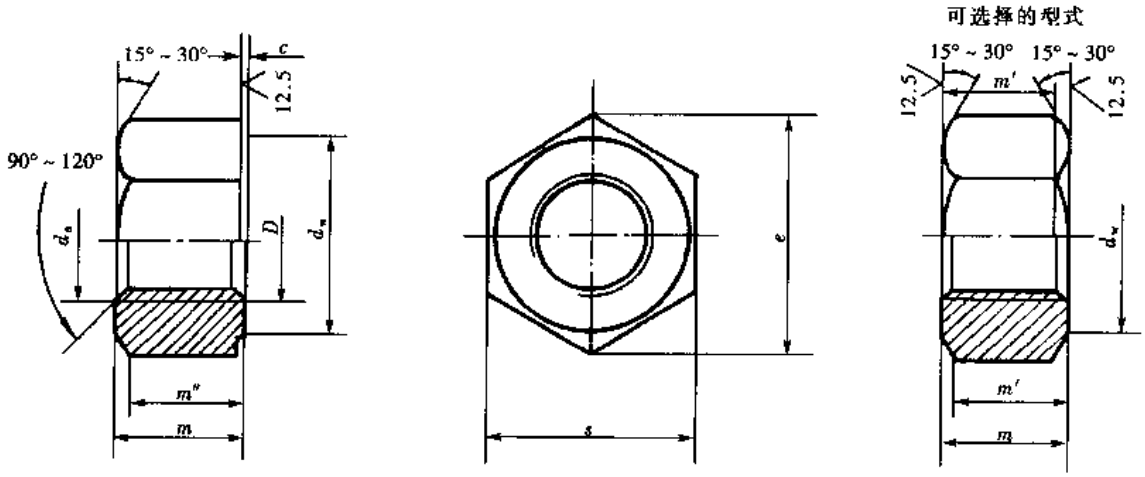


表 18-11

螺纹规格 D (mm)		M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
$P^{2)}$ (mm)		1.75	2	2.5	2.5	3	3	3.5
d_a (mm)	max	13	17.3	21.6	23.8	25.9	29.1	32.4
	min	12	16	20	22	24	27	30
d_w (mm)	min	19.2	24.9	31.4	33.3	38.0	42.8	46.5
e (mm)	min	22.78	29.56	37.29	39.55	45.20	50.85	55.37
m (mm)	max	12.3	17.1	20.7	23.6	24.2	27.6	30.7
	min	11.87	16.4	19.4	22.3	22.9	26.3	29.1
m' (mm)	min	9.5	13.1	15.5	17.8	18.3	21.0	23.3
m'' (mm)	min	8.3	11.5	13.6	15.6	16.0	18.4	20.4
c (mm)	max	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	min	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
s (mm)	max	21	27	34	36	41	46	50
	min	20.16	26.16	33	35	40	45	49
支承面对螺纹轴线的垂直度公差		0.29	0.38	0.47	0.50	0.57	0.64	0.70
每 1000 个钢螺母的理论质量 (kg)		27.68	61.51	118.77	146.59	202.67	288.51	374.01

注　1. 括号内的规格为第二选择系列。

2. P—螺距。

(12) 钢结构用高强度垫圈的规格（按 GB/T 1230—1991）

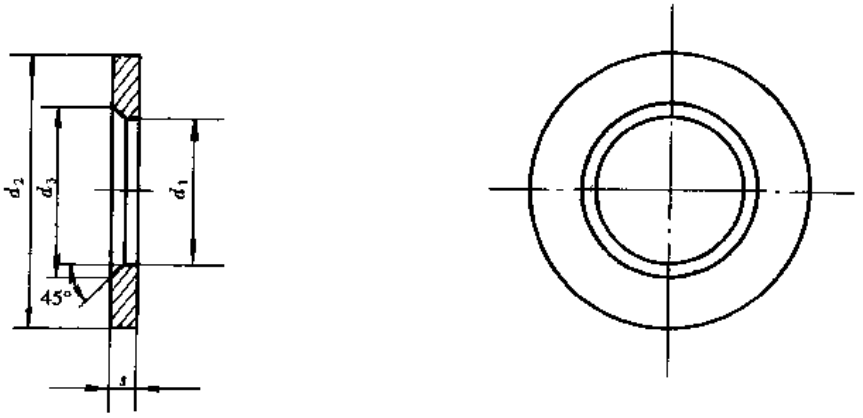


表 18-12

规格（螺纹大径）		12	16	20	(22)	24	(27)	30
d_1 (mm)	min	13	17	21	23	25	28	31
	max	13.43	17.43	21.52	23.52	25.52	28.52	31.62
d_2 (mm)	min	23.7	31.4	38.4	40.4	45.4	50.1	54.1
	max	25	33	40	42	47	52	56
s (mm)	公称	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	min	2.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	max	3.8	4.8	4.8	5.8	5.8	5.8	5.8
d_3 (mm)	min	15.23	19.23	24.32	26.32	28.32	32.84	35.84
	max	16.03	20.03	25.12	27.12	29.12	33.64	36.64
每 1000 个钢垫圈的理论质量 (kg)		10.47	23.40	33.55	43.34	55.76	66.52	75.42

注：括号内的规格为第二选择系列。

(13) 钢结构用扭剪型高强度螺栓的规格（按 GB/T 3632—1995）

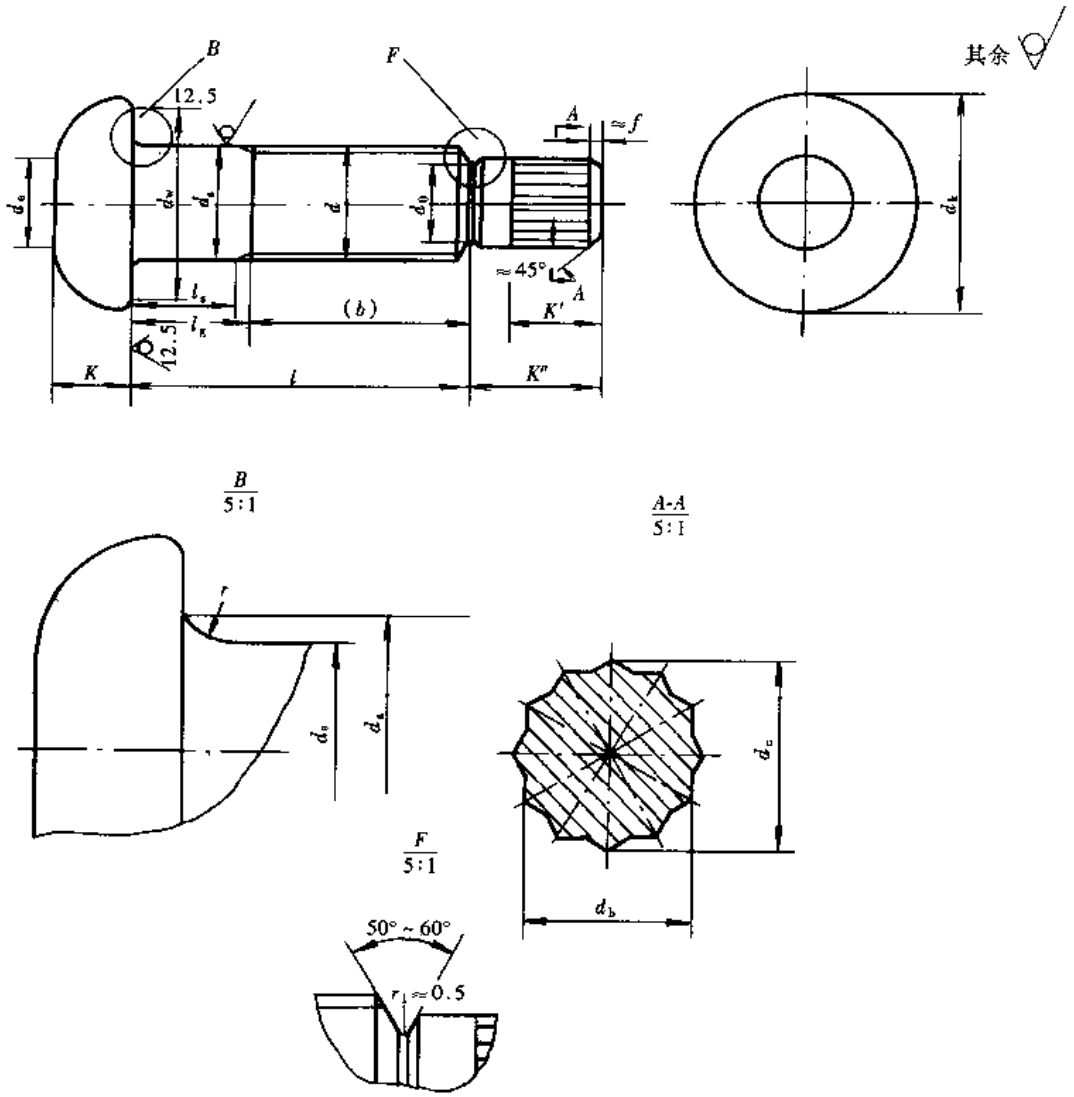


表 18-13

螺纹规格 d（mm）		M16	M20	(M22)	M24
P（mm）		2	2.5	2.5	3
d_a（mm）	max	18.83	24.4	26.4	28.4
d_s（mm）	max	16.43	20.52	22.52	24.52
	min	15.57	19.48	21.48	23.48
d_w（mm）	min	27.9	34.5	38.5	41.5
d_k（mm）	max	30	37	41	44
K（mm）	公　称	10	13	14	15
	max	10.75	13.9	14.9	15.9
	min	9.25	12.1	13.1	14.1
K'（mm）	min	12	14	15	16
K''（mm）	max	17	19	21	23

续表

螺纹规格 d（mm）		M16	M20	(M22)	M24
r（mm）	min	1.2	1.2	1.2	1.6
d_a（mm）	≈	10.9	13.6	15.1	16.4
d_b（mm）	公 称	11.1	13.9	15.4	16.7
	max	11.3	14.1	15.6	16.9
	min	11	13.8	15.3	16.6
d_c（mm）	≈	12.8	16.1	17.8	19.3
d_e（mm）	≈	13	17	18	20

注：1. 括号内的规格为第二选择系列，应优先选用第一系列（不带括号）的规格。

2. P——螺距。

l（mm）			螺纹规格 d（mm）								b 参考			
			M16		M20		(M22)		M24		M16	M20	(M22)	M24
			无螺纹杆部长度 l_s 和夹紧长度 l_g											
公称	min	max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max	l_s min	l_g max				
40	38.75	41.25	4	10										
45	43.75	46.25	9	15	2.5	10								
50	48.75	51.25	14	20	7.5	15	2.5	10			30			
55	53.5	56.5	14	20	12.5	20	7.5	15	1	10		35		
60	58.5	61.5	19	25	17.5	25	12.5	20	6	15			40	
65	63.5	66.5	24	30	17.5	25	17.5	25	11	20				45
70	68.5	71.5	29	35	22.5	30	17.5	25	16	25				
75	73.5	76.5	34	40	27.5	35	22.5	30	16	25				
80	78.5	81.5	39	45	32.5	40	27.5	35	21	30				
85	83.25	86.75	44	50	37.5	45	32.5	40	26	35	35			
90	88.25	91.75	49	55	42.5	50	37.5	45	31	40		40		
95	93.25	96.75	54	60	47.5	55	42.5	50	36	45			45	
100	98.25	101.75	59	65	52.5	60	47.5	55	41	50				50
110	108.25	111.75	69	75	62.5	70	57.5	65	51	60				
120	118.25	121.75	79	85	72.5	80	67.5	75	61	70				
130	128	132	89	95	82.5	90	77.5	85	71	80				
140	138	142			92.50	100	87.5	95	81	90				
150	148	152			102.5	110	97.55	105	91	100				
160	156	164			112.5	120	107.5	115	101	110				
170	166	174					117.5	125	111	120				
180	176	184					127.5	135	121	130				

注：1. 括号内的规格为第二选择系列，应优先选用第一系列（不带括号）的规格。

续表

公称长度 l（mm）	螺纹规格 d（mm）			
	M16	M20	M22	M24
	每1000件钢螺栓的理论重量（kg）≈			
40	118.34			
45	126.66	219.63		
50	134.98	232.60	258.87	
55	143.30	245.57	301.49	372.49
60	151.61	258.55	317.12	391.50
65	157.78	271.52	332.75	410.51
70	166.09	284.50	348.37	429.53
75	174.41	294.11	364	448.54
80	182.73	307.08	375.89	467.55
85	191.05	320.06	391.52	481.40
90	199.36	333.03	407.14	500.42
95	207.68	346.01	422.77	519.43
100	216	358.98	438.89	538.44
110	232.63	384.93	469.65	576.46
120	249.26	410.88	500.90	614.49
130		436.82	532.15	652.51
140		462.77	563.40	690.54
150			549.65	728.56
160				766.58
170				804.61
180				842.630

（14）钢结构用扭剪型高强度螺母的规格（按 GB/T 3632—1995）

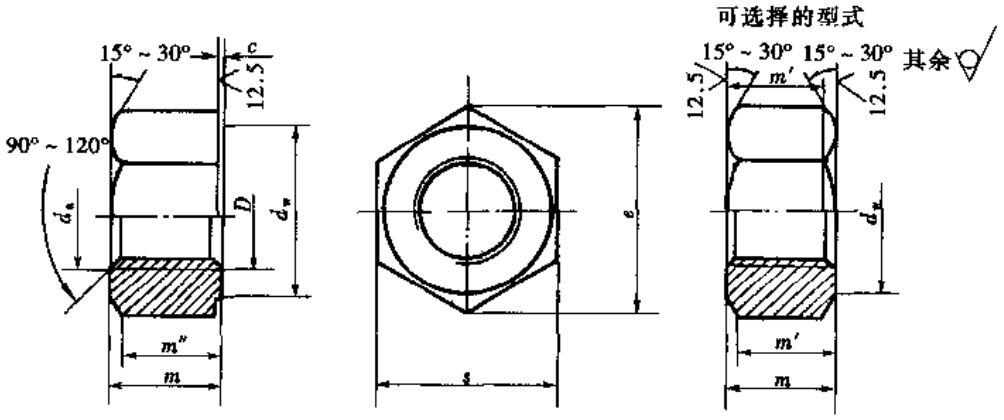


表 18-14

螺纹规格 D（mm）		M16	M20	(M22)	M24
P（mm）		2	2.5	2.5	3
d_a（mm）	max	17.3	21.6	23.8	25.9
	min	16	20	22	24

续表

螺纹规格 D (mm)		M16	M20	(M22)	M24
d_w (mm)	min	24.9	31.4	33.3	38
e (mm)	min	29.56	37.29	39.55	45.2
m (mm)	max	17.1	20.7	23.6	24.2
	min	16.4	19.4	22.3	22.9
m' (mm)	min	13.1	15.5	17.8	18.3
m'' (mm)	min	11.5	13.6	15.6	16
c (mm)	max	0.8	0.8	0.8	0.8
	min	0.4	0.4	0.4	0.4
s (mm)	max	27	34	36	41
	min	26.16	33	35	40
支承面对螺纹轴线的垂直度公差		0.38	0.47	0.50	0.57
每1000件钢螺母的理论重量，kg≈		61.51	118.77	146.59	202.67

注：1. 括号内的规格为第二选择系列，应优先选用第一系列（不带括号）的规格。

2. P——螺距。

(15) 钢结构用扭剪型高强度垫圈的规格（按 GB/T 3632—1995）

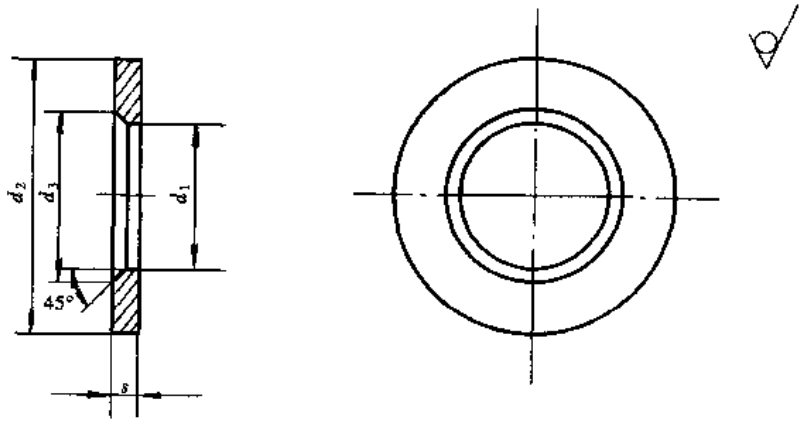


表 18-15

规格（螺纹大径）(mm)		16	20	(22)	24
d_1 (mm)	max	17.43	21.52	23.52	25.52
	min	17	21	23	25
d_2 (mm)	max	33	40	42	47
	min	31.4	38.4	40.4	45.4
s (mm)	公称	4	4	5	5
	min	3.5	3.5	4.5	4.5
	max	4.8	4.8	5.8	5.8
d_3 (mm) ≈		19.6	24.7	26.7	28.7
每1000件钢垫圈的理论重量 (kg) ≈		23.40	33.55	43.34	55.76

注：括号内的规格为第二选择系列，应优先选用第一系列（不带括号）的规格。

(16) 标准型弹簧垫圈的规格（按 GB/T 93—1987）

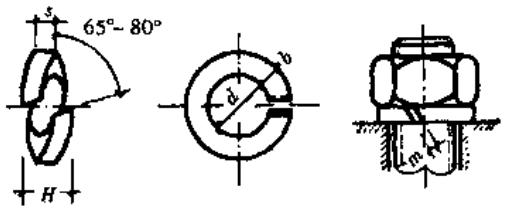


表 18-16

规格（螺纹直径）	d		s、b			H		m ≤
	min	max	公称	min	max	min	max	
10	10.2	10.9	2.6	2.45	2.75	5.2	6.5	1.3
12	12.2	12.9	3.1	2.95	3.25	6.2	7.75	1.55
(14)	14.2	14.9	3.6	3.4	3.8	7.2	9.0	1.8
16	16.2	16.9	4.1	3.9	4.3	8.2	10.25	2.05
(18)	18.2	19.04	4.5	4.3	4.7	9.0	11.25	2.25
20	20.2	21.04	5.0	4.8	5.2	10.0	12.5	2.5
(22)	22.5	23.34	5.5	5.3	5.7	11.0	13.75	2.75
24	24.5	25.5	6.0	5.8	6.2	12.0	15.0	3.0
(27)	27.5	28.5	6.8	6.5	7.1	13.6	17.0	3.4
30	30.5	31.5	7.5	7.2	7.8	15.0	18.75	3.75
(33)	33.5	34.7	8.5	8.2	8.8	17.0	21.25	4.25
36	36.5	37.7	9.0	8.7	9.3	18.0	22.5	4.5
(39)	39.5	40.7	10.0	9.7	10.3	20.0	25.0	5.0
42	42.5	43.7	10.5	10.2	10.8	21.0	26.25	5.25
(45)	45.5	46.7	11.0	10.7	11.3	22.0	27.5	5.5
48	48.5	49.7	12.0	11.7	12.3	24.0	30.0	6.0

注：1. 尽可能不采用括号内的规格。

2. m 应大于零。

(17) 轻型弹簧垫圈的规格（按 GB/T 859—1987）

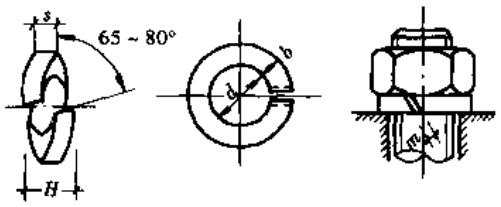


表 18-17

规格（螺纹直径）	d		s			b			H		m ≤
	min	max	公称	min	max	公称	min	max	min	max	
10	10.2	10.9	2.0	1.9	2.1	3.0	2.85	3.15	4.0	5.0	1.0
12	12.2	12.9	2.5	2.35	2.65	3.5	3.3	3.7	5.0	6.25	1.25
(14)	14.2	14.9	3.0	2.85	3.15	4.0	3.8	4.2	6.0	7.5	1.5
16	16.2	16.9	3.2	3.0	3.4	4.5	4.3	4.7	6.4	8.0	1.6
(18)	18.2	19.04	3.6	3.4	3.8	5.0	4.8	5.2	7.2	9.0	1.8

续表

规格（螺纹直径）	d		s			b			H		m
	min	max	公称	min	max	公称	min	max	min	max	≈
20	20.2	21.04	4.0	3.8	4.2	5.5	5.3	5.7	8.0	10.0	2.0
(22)	22.5	23.34	4.5	4.3	4.7	6.0	5.8	6.2	9.0	11.25	2.25
24	24.5	25.5	5.0	4.8	5.2	7.0	6.7	7.3	10.0	12.5	2.5
(27)	27.5	28.5	5.5	5.3	5.7	8.0	7.7	8.3	11.0	13.75	2.75
30	30.5	31.5	6.0	5.8	6.2	9.0	8.7	9.3	12.0	15.0	3.0

注：1. 尽可能不采用括号内的规格。

2. m 应大于零。

(18) 工字钢用方斜垫圈的规格

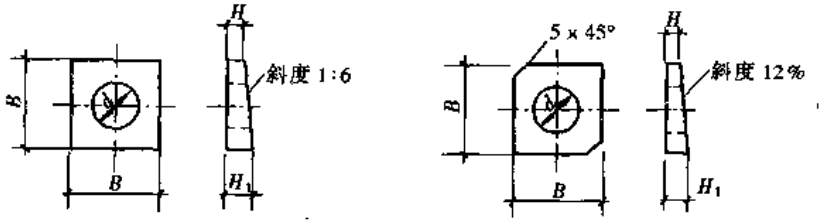


表 18-18

种类	公称直径（螺纹直径）(mm)	d (mm)	B (mm)	H (mm)	H_1 (mm)	每 1000 个垫圈重量 (kg) ≈
普通工字钢用方斜垫圈（GB/T 852—1988）	6	6.6	16	2	4.7	5.7
	8	9	18	2	5.0	7.1
	10	11	22	2	5.7	11.6
	12	13.5	28	2	6.7	18.5
	16	17.5	35	2	7.7	37.5
	(18)	20	40	3	9.7	63.7
	20	22	40	3	9.7	60.4
	(22)	24	40	3	9.7	56.9
	24	26	50	3	11.3	109.0
	(27)	30	50	3	11.3	102.0
	30	33	60	3	13.0	174.0
	36	39	70	3	14.7	259.0
轻型工字钢用方斜垫圈（Q/ZB 199—1973）	6	7	16	2	3.9	5.0
	8	9	18	2	4.2	6.0
	10	11	22	2	4.6	10.0
	12	13	28	2	5.4	15.0
	16	17	35	2	6.2	29.0
	20	22	40	3	7.8	52.0
	24	26	50	3	9.0	93.0
	30	32	60	3	10.2	140.0
	36	38	70	3	11.4	210.0

注：括号内的规格不推荐采用。

(19) 槽钢用方斜垫圈的规格

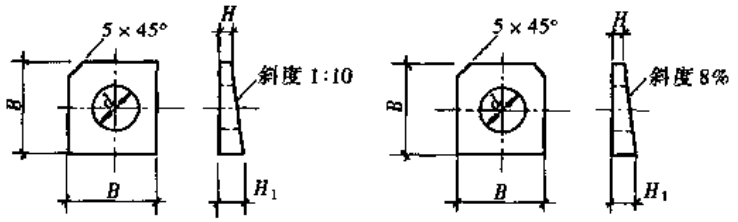


表 18-19

种　　类	公称直径（螺纹直径）(mm)	d (mm)	B (mm)	H (mm)	H_1 (mm)	每 1000 个垫圈重量 (kg) ≈
普通槽钢用方斜垫圈（GB/T 853—1988）	6	6.6	16	2	3.6	4.5
	8	9	18	2	3.8	5.7
	10	11	22	2	4.2	9.2
	12	13.5	28	2	4.8	17.0
	16	17.5	35	2	5.4	28.0
普通槽钢用方斜垫圈（GB/T 853—1988）	(18)	20	40	3	7.0	49.8
	20	22	40	3	7.0	47.3
	(22)	24	40	3	7.0	42.4
	24	26	50	3	8.0	84.0
	(27)	30	50	3	8.0	78.0
	30	33	60	3	9.0	130.0
	36	39	70	3	10.0	190.0
轻型槽钢用方斜垫圈（Q/ZB 200—1973）	6	7	16	2	3.3	5.0
	8	9	18	2	3.4	6.0
	10	11	22	2	3.8	9.0
	12	13	28	2	4.2	16.0
	16	17	35	2	4.7	25.0
	20	22	40	3	6.2	44.0
	24	26	50	3	7.0	177.0
	30	32	60	3	7.8	120.0
	36	38	70	3	8.6	170.0

注：括号内的规格不推荐采用。

19 构件的承载力设计值、承载力矩设计值

(1) 受弯构件的承载力矩设计值

1) Q235钢 热轧普通工字钢简支梁（跨中无侧向支承，集中荷载作用于上翼缘）整体稳定时的承载力矩设计值（kN·m）

表 19-1

型号 / l_1 (m)	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
2.0	9.76	15.3	20.2	28.2	37.2	47.8	50.6	63.3	66.7	82.0	86.4	104	110	143	150	157
2.2	9.58	15.1	19.9	27.7	36.6	47.0	49.8	62.3	65.7	80.6	85.1	102	108	140	148	155
2.4	9.41	14.8	19.6	27.3	36.1	46.3	49.0	61.3	64.7	79.3	83.7	101	106	138	145	152
2.6	9.23	14.5	19.3	26.9	35.5	45.5	48.3	60.4	63.7	78.0	82.4	98.8	104	136	143	150
2.8	9.06	14.2	18.9	26.6	35.0	44.9	47.6	59.5	62.8	76.8	81.1	97.1	102	133	140	147
3.0	8.89	13.9	18.6	26.1	34.5	44.2	46.9	58.7	61.9	75.5	79.8	95.5	101	131	138	145
3.2	8.72	13.6	18.2	25.6	34.1	43.6	46.3	57.8	61.1	74.4	78.6	93.9	99.1	129	136	143
3.4	8.55	13.3	17.8	25.1	33.4	43.0	45.7	57.0	60.3	73.2	77.5	92.3	97.5	127	133	140
3.6	8.38	13.0	17.5	24.6	32.8	42.3	45.1	56.3	59.5	72.1	76.3	90.8	96.0	125	131	138
3.8	8.21	12.7	17.1	24.2	32.2	41.5	44.2	55.6	58.7	71.1	75.3	89.4	94.5	123	129	136
4.0	8.04	12.4	16.8	23.7	31.5	40.7	43.4	54.8	58.0	70.1	74.2	88.0	93.0	121	127	134
4.2	7.87	12.2	16.4	23.2	30.9	39.9	42.6	53.8	57.0	69.1	73.2	86.6	91.6	119	125	132
4.4	7.70	11.9	16.0	22.7	30.3	39.2	41.8	52.9	56.1	68.1	72.2	85.3	90.3	117	123	130
4.6	7.53	11.6	15.7	22.2	29.7	38.4	41.0	51.9	55.1	67.0	71.2	84.0	88.9	115	121	128
4.8	7.37	11.3	15.3	21.8	29.1	37.6	40.3	50.9	54.1	65.7	69.9	82.8	87.7	113	120	126
5.0	7.20	11.0	15.0	21.3	28.5	36.8	39.5	50.0	53.1	64.4	68.6	81.6	86.4	112	118	124
5.2	7.03	10.7	14.6	20.8	27.8	36.0	38.7	49.0	52.2	63.1	67.3	79.9	84.9	110	116	122
5.4	6.86	10.5	14.3	20.4	27.2	35.3	37.9	48.1	51.2	61.9	66.0	78.3	83.2	108	114	121
5.6	6.70	10.2	13.9	19.9	26.6	34.5	37.1	47.2	50.2	60.6	64.7	76.6	81.5	106	113	119
5.8	6.53	9.87	13.6	19.4	26.0	33.7	36.3	46.2	49.3	59.3	63.4	75.0	79.9	104	111	117
6.0	6.36	9.53	13.2	18.9	25.4	33.0	35.5	45.3	48.3	58.1	62.1	73.4	78.2	102	108	115
6.2	6.16	9.22	12.8	18.5	24.8	32.2	34.7	44.3	47.4	56.8	60.8	71.7	76.5	100	106	112
6.4	5.97	8.92	12.4	17.9	24.2	31.4	34.0	43.4	46.4	55.6	59.5	70.1	74.9	97.8	104	110
6.6	5.78	8.64	12.0	17.4	23.5	30.7	33.2	42.5	45.4	54.3	58.3	68.5	73.2	95.6	102	108
6.8	5.61	8.38	11.6	16.9	22.8	29.8	32.4	41.5	44.5	53.0	57.0	66.9	71.6	93.4	99.5	106
7.0	5.45	8.14	11.3	16.4	22.1	28.9	31.5	40.6	43.5	51.8	55.7	65.2	69.9	91.3	97.3	103
7.2	5.29	7.91	11.0	15.9	21.5	28.0	30.6	39.6	42.6	50.3	54.4	63.2	68.1	89.1	95.1	101
7.4	5.15	7.69	10.7	15.4	20.9	27.2	29.7	38.5	41.5	48.8	52.9	61.4	66.1	86.4	92.7	98.8
7.6	5.01	7.48	10.4	15.0	20.3	26.5	28.9	37.4	40.4	47.4	51.4	59.6	64.2	83.9	90.0	96.2
7.8	4.88	7.29	10.1	14.6	19.8	25.8	28.1	36.4	39.3	46.1	50.0	58.0	62.5	81.6	87.5	93.5
8.0	4.76	7.10	9.84	14.2	19.2	25.1	27.4	35.4	38.3	44.9	48.7	56.4	60.8	79.4	85.1	91.0
8.2	4.64	6.93	9.59	13.9	18.8	24.5	26.7	34.5	37.3	43.8	47.4	54.9	59.2	77.3	82.9	88.6
8.4	4.53	6.76	9.36	13.6	18.3	23.9	26.0	33.7	36.4	42.7	46.2	53.5	57.7	75.3	80.8	86.3
8.6	4.42	6.60	9.14	13.2	17.9	23.3	25.4	32.9	35.5	41.6	45.1	52.2	56.3	73.4	78.8	84.2
8.8	4.32	6.45	8.93	12.9	17.4	22.7	24.8	32.1	34.6	40.6	44.0	51.0	54.9	71.6	76.8	82.1
9.0	4.22	6.30	8.73	12.6	17.0	22.2	24.2	31.3	33.8	39.7	43.0	49.8	53.6	69.9	75.0	80.2
9.2	4.13	6.16	8.53	12.3	16.7	21.7	23.7	30.6	33.1	38.8	42.0	48.6	52.4	68.3	73.3	78.3
9.4	4.04	6.03	8.35	12.1	16.3	21.2	23.2	30.0	32.3	37.9	41.1	47.5	51.2	66.7	71.6	76.6
9.6	3.96	5.90	8.17	11.8	16.0	20.8	22.7	29.3	31.7	37.1	40.2	46.5	50.1	65.3	70.0	74.9
9.8	3.88	5.78	8.00	11.6	15.6	20.4	22.2	28.7	31.0	36.3	39.3	45.5	49.0	63.9	68.5	73.3
10.0	3.80	5.66	7.84	11.3	15.3	19.9	21.7	28.1	30.3	35.5	38.5	44.5	48.0	62.5	67.1	71.7

续表

型号 / l_1（m）	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
2.0	181	190	200	214	225	236	285	299	312	373	390	407	472	493	514	605	631	691
2.2	178	187	196	211	221	232	280	294	307	368	384	401	465	486	507	596	622	681
2.4	175	184	193	207	217	228	275	289	302	362	378	394	458	478	499	587	612	670
2.6	172	181	190	203	213	224	271	284	297	356	372	388	450	470	491	577	602	658
2.8	169	178	186	199	209	220	266	279	291	350	366	382	443	463	483	567	592	647
3.0	166	174	183	196	205	216	261	274	286	344	360	375	435	455	474	558	582	635
3.2	163	171	180	192	202	212	256	269	281	338	353	369	427	447	466	548	572	623
3.4	160	168	177	188	198	208	251	264	276	332	347	363	419	439	458	538	561	611
3.6	157	165	174	185	194	204	246	259	271	326	341	356	412	431	450	528	551	599
3.8	154	162	171	181	191	200	242	254	266	320	335	350	404	423	442	518	541	587
4.0	151	160	168	178	187	197	237	249	261	315	329	344	397	415	434	508	530	575
4.2	149	157	165	174	183	193	233	245	256	309	324	338	389	407	426	498	520	563
4.4	146	154	162	171	180	189	228	240	252	304	318	332	382	400	418	488	510	551
4.6	144	152	160	168	177	186	224	236	247	298	312	327	375	392	410	478	499	540
4.8	141	149	157	165	173	183	220	231	242	293	307	321	367	385	402	468	489	528
5.0	139	147	154	162	170	179	216	227	238	288	301	315	360	378	395	459	479	517
5.2	136	144	152	159	167	176	212	223	234	282	296	310	353	370	388	449	470	506
5.4	134	142	149	156	164	173	208	219	230	277	291	305	347	363	380	440	460	494
5.6	132	140	147	153	161	170	204	215	225	272	286	299	340	357	373	431	451	484
5.8	130	137	145	150	158	167	200	211	221	268	281	294	333	350	366	421	441	473
6.0	128	135	143	147	155	164	196	207	217	263	276	289	327	343	359	413	432	462
6.2	126	133	140	144	153	161	192	203	213	258	271	284	320	337	353	404	423	452
6.4	123	130	138	142	150	158	189	200	210	254	267	280	314	330	346	395	414	442
6.6	120	127	135	139	147	156	185	196	206	249	262	275	308	324	340	387	405	431
6.8	117	125	132	137	145	153	182	192	202	245	258	270	302	318	333	378	396	421
7.0	114	122	129	134	142	150	179	189	199	241	253	266	296	312	327	370	388	409
7.2	111	119	126	130	138	147	175	186	195	237	249	261	290	306	321	360	378	398
7.4	108	115	123	126	134	143	171	182	192	232	245	257	284	299	315	351	368	388
7.6	104	112	119	122	130	139	167	178	187	228	240	253	277	292	308	342	359	378
7.8	101	109	116	118	126	135	162	173	183	223	236	248	271	286	301	333	350	369
8.0	98.6	106	113	115	123	131	157	168	178	218	231	243	265	279	294	326	342	360
8.2	96.0	103	110	112	119	127	153	163	173	212	225	237	259	274	288	318	334	352
8.4	93.5	100	107	109	116	124	149	159	168	206	218	231	254	268	282	311	327	344
8.6	91.1	97.7	104	106	113	121	145	155	164	201	213	225	249	263	277	305	320	337
8.8	88.8	95.3	102	103	110	118	141	151	160	196	207	219	244	258	271	299	314	330
9.0	86.7	93.0	99.3	101	108	115	138	147	156	191	202	214	239	253	266	293	308	324
9.2	84.7	90.8	97.0	98.5	105	112	134	143	152	186	197	209	233	246	260	287	302	318
9.4	82.7	88.7	94.8	96.2	103	110	131	140	148	182	193	204	227	241	254	282	296	312
9.6	80.9	86.7	92.7	94.1	100	107	128	137	145	177	188	199	222	235	248	277	291	307
9.8	79.1	84.8	90.7	92.0	98.2	105	125	134	142	173	184	194	217	230	243	272	286	301
10.0	77.4	83.0	88.7	90.0	96.1	103	123	131	139	170	180	190	212	224	237	268	282	296

注：1. 表中的承载弯矩设计值按下式算得：$M=\varphi'_b W f$

φ'_b 值为：当 $\varphi_b>0.6$ 时，$\varphi'_b=1.07-\dfrac{0.282}{\varphi_b}\leqslant 1.0$；当 $\varphi_b\leqslant 0.6$ 时，$\varphi'_b=\varphi_b$

2. l_1 为梁受压翼缘的侧向自由长度。

2）Q235钢热轧普通工字钢简支梁（跨中无侧向支承，集中荷载作用于下翼缘）整体稳定时的承载力矩设计值（kN·m）

表 19-2

型号	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
2.0	10.3	16.3	21.6	30.1	39.9	51.2	54.2	67.5	71.1	87.7	92.3	111	117	152	160	168
2.2	10.2	16.0	21.3	29.8	39.5	50.7	53.6	66.9	70.5	86.9	91.6	110	116	151	159	166
2.4	10.1	15.8	21.0	29.4	39.0	50.1	53.1	66.2	69.8	86.1	90.7	109	115	150	157	165
2.6	9.94	15.6	20.7	29.0	38.5	49.6	52.5	65.6	69.2	85.3	89.9	108	114	149	156	164
2.8	9.83	15.4	20.5	28.6	38.0	49.0	51.9	64.9	68.5	84.4	89.0	107	113	147	155	162
3.0	9.72	15.2	20.2	28.3	37.5	48.4	51.3	64.2	67.8	83.5	88.1	106	112	146	153	161
3.2	9.61	15.1	20.0	28.0	37.0	47.8	50.7	63.5	67.0	82.6	87.2	105	111	144	152	159
3.4	9.49	14.9	19.8	27.7	36.6	47.1	50.1	62.8	66.3	81.7	86.3	104	110	143	150	158
3.6	9.38	14.7	19.5	27.3	36.2	46.5	49.4	62.0	65.5	80.7	85.3	103	108	141	149	156
3.8	9.27	14.5	19.3	27.0	35.8	46.0	48.9	61.2	64.7	79.8	84.3	102	107	140	147	155
4.0	9.16	14.3	19.1	26.7	35.4	45.5	48.3	60.5	63.9	78.8	83.3	100	106	138	146	153
4.2	9.05	14.1	18.8	26.4	35.0	45.0	47.8	59.9	63.3	77.7	82.3	99.1	105	137	144	151
4.4	8.94	13.9	18.6	26.1	34.6	44.5	47.3	59.2	62.6	76.7	81.2	97.8	103	135	142	150
4.6	8.83	13 7	18.4	25.8	34.2	44.0	46.8	58.6	62.0	75.8	80.2	96.5	102	134	141	148
4.8	8.72	13.6	18.1	25.5	33.8	43.5	46.3	58.0	61.4	74.9	79.3	95.2	101	132	139	146
5.0	8.61	13.4	17.9	25.2	33.4	43.0	45.7	57.4	60.7	74.1	78.5	93.8	99.3	130	137	144
5.2	8.50	13.2	17.7	24.8	33.0	42.5	45.2	56.7	60.1	73.3	77.6	92.8	98.1	128	135	143
5.4	8.39	13.0	17.4	24.5	32.6	42.0	44.7	56.1	59.5	72.4	76.8	91.7	97.0	127	134	141
5.6	8.29	12.8	17.2	24.2	32.2	41.4	44.2	55.5	58.8	71.6	75.9	90.6	95.9	125	132	139
5.8	8.18	12.6	17.0	23.9	31.8	40.9	43.7	54.9	58.2	70.8	75.1	89.6	94.8	123	130	137
6.0	8.07	12.5	16.7	23.6	31.4	40.4	43.2	54.3	57.6	70.0	74.3	88.5	93.7	122	129	136
6.2	7.96	12.3	16.5	23.3	31.0	39.9	42.7	53.7	56.9	69.1	73.4	87.4	92.7	121	127	134
6.4	7.85	12.1	16.3	23.0	30.6	39.4	42.2	53.1	56.3	68.3	72.6	86.4	91.6	119	126	133
6.6	7.74	11.9	16.1	22.7	30.2	38.9	41.6	52.5	55.7	67.5	71.8	85.3	90.5	118	124	131
6.8	7.63	11.7	15.8	22.4	29.8	38.5	41.1	51.8	55.1	66.7	70.9	84.3	89.4	116	123	130
7.0	7.52	11.5	15.6	22.1	29.4	38.0	40.6	51.2	54.4	65.9	70.1	83.2	88.3	115	122	128
7.2	7.41	11.4	15.4	21.8	29.0	37.5	40.1	50.6	53.8	65.1	69.3	82.1	87.3	114	120	127
7.4	7.30	11.2	15.1	21.5	28.6	37.0	39.6	50.0	53.2	64.3	68.4	81.1	86.2	112	119	125
7.6	7.20	11.0	14.9	21.2	28.2	36.5	39.1	49.4	52.6	63.4	67.6	80.1	85.1	111	117	124
7.8	7.09	10.8	14.7	20.9	27.8	36.0	38.6	48.8	52.0	62.6	66.8	79.0	84.0	109	116	122
8.0	6.98	10.6	14.5	20.6	27.5	35.5	38.1	48.2	51.3	61.8	66.0	78.0	83.0	108	114	121
8.2	6.87	10.4	14.2	20.3	27.1	35.0	37.6	47.6	50.7	61.0	65.1	76.9	81.9	107	113	119
8.4	6.76	10.3	14.0	20.0	26.7	34.5	37.1	47.0	50.1	60.2	64.3	75.9	80.8	105	112	118
8.6	6.65	10.1	13.8	19.6	26.3	34.0	36.6	46.4	49.5	59.4	63.5	74.8	79.8	104	110	117
8.8	6.54	9.88	13.5	19.3	25.9	33.5	36.1	45.8	48.9	58.6	62.7	73.8	78.7	102	109	115
9.0	6.44	9.65	13.3	19.0	25.5	33.0	35.6	45.2	48.3	57.8	61.8	72.8	77.6	101	107	114
9.2	6.33	9.44	13.1	18.7	25.1	32.5	35.1	44.6	47.6	57.0	61.0	71.7	76.6	99.6	106	112
9.4	6.19	9.24	12.8	18.4	24.7	32.0	34.6	44.0	47.0	56.2	60.2	70.7	75.5	98.2	104	111
9.6	6.06	9.04	12.5	18.1	24.3	31.5	34.1	43.4	46.4	55.4	59.4	69.6	74.4	96.8	103	109
9.8	5.94	8.86	12.3	17.7	23.9	31.0	33.6	42.8	45.8	54.6	58.6	68.6	73.4	95.4	102	108
10.0	5.82	8.68	12.0	17.4	23.4	30.5	33.1	42.2	45.2	53.8	57.8	67.6	72.3	94.0	100	106

续表

型号	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
2.0	193	203	213	229	240	251	303	317	331	394	412	430	498	520	542	636	664	729
2.2	192	201	211	227	238	249	301	315	329	392	409	427	495	517	539	632	660	725
2.4	190	200	209	225	236	247	298	313	327	389	407	424	491	513	536	628	656	720
2.6	189	198	208	223	234	245	296	310	324	386	404	421	488	510	532	624	652	715
2.8	187	196	206	221	232	243	294	308	322	383	401	418	484	506	528	620	647	710
3.0	185	195	204	219	230	241	291	305	319	380	398	415	481	502	524	615	643	705
3.2	183	193	202	217	228	239	288	302	316	377	394	412	477	499	520	611	638	699
3.4	182	191	200	215	226	237	286	300	313	374	391	408	473	495	516	606	633	694
3.6	180	189	198	213	224	235	283	297	311	371	388	405	469	490	512	601	628	688
3.8	178	187	196	211	221	232	280	294	308	367	384	401	465	486	508	596	622	682
4.0	176	185	194	208	219	230	278	291	305	364	381	398	461	482	503	591	617	676
4.2	174	183	192	206	217	227	275	288	302	361	377	394	457	478	499	585	612	669
4.4	172	181	190	204	214	225	272	285	299	357	374	390	452	473	494	580	606	663
4.6	170	179	188	201	212	223	269	282	296	354	370	387	448	469	489	575	600	657
4.8	168	177	186	199	209	220	266	279	292	350	366	383	443	464	485	569	595	650
5.0	166	175	184	196	207	217	263	276	289	346	363	379	439	459	480	563	589	643
5.2	163	172	181	194	204	215	260	273	286	343	359	375	434	455	475	558	583	637
5.4	161	170	179	191	202	212	256	270	283	339	355	371	430	450	470	552	577	630
5.6	159	168	177	189	199	210	253	266	279	335	351	367	425	445	465	546	571	623
5.8	157	166	174	186	196	207	250	263	276	331	347	363	420	440	460	540	565	616
6.0	154	163	172	184	194	204	247	260	273	327	343	359	415	435	455	534	559	609
6.2	152	161	170	181	191	201	243	256	269	323	339	355	410	430	450	528	553	602
6.4	150	159	167	178	188	198	240	253	266	319	335	351	406	425	445	522	546	595
6.6	148	157	165	175	185	195	237	249	262	315	331	347	400	420	440	516	540	588
6.8	146	155	163	173	182	193	233	246	258	311	327	342	395	415	435	509	534	580
7.0	145	153	161	170	179	190	230	242	255	307	322	338	390	410	429	503	527	573
7.2	143	151	159	168	177	187	226	239	251	302	318	333	385	404	424	497	520	565
7.4	141	149	157	166	175	185	222	235	247	298	313	329	380	399	418	490	514	558
7.6	139	147	156	163	173	182	219	231	243	294	309	324	374	393	413	484	507	550
7.8	137	145	154	161	170	180	216	228	240	289	304	320	369	388	407	477	500	542
8.0	135	144	152	159	168	178	213	225	237	285	300	315	363	382	401	470	493	535
8.2	134	142	150	157	166	175	210	222	234	282	296	311	358	377	395	463	486	527
8.4	132	140	148	154	163	173	208	219	231	278	292	307	352	371	390	457	479	519
8.6	130	138	146	152	161	171	205	216	228	275	289	303	347	365	384	450	472	511
8.8	128	136	144	150	159	168	202	214	225	271	285	299	341	359	378	443	465	502
9.0	126	134	142	148	157	166	199	211	222	268	282	296	336	353	372	436	458	494
9.2	125	132	140	146	154	164	196	208	219	264	278	292	331	349	366	428	450	486
9.4	123	131	138	143	152	161	193	205	216	261	274	288	327	344	362	421	443	477
9.6	121	129	136	141	150	159	190	202	213	257	271	285	322	340	357	414	436	469
9.8	119	127	135	139	148	157	188	199	210	254	267	281	318	335	352	406	428	460
10.0	117	125	133	137	145	154	185	196	207	250	264	277	313	330	347	399	420	451

注：同表 19-1。

3）Q235钢热轧普通工字钢简支梁（跨中无侧向支承，均布荷载作用于上翼缘）整体稳定时的承载力矩设计值（kN·m）

表 19-3

型号	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
2.0	9.53	14.9	19.8	27.6	36.6	47.0	49.8	62.4	65.8	80.9	85.3	103	108	141	148	156
2.2	9.33	14.6	19.4	27.1	35.9	46.1	48.9	61.2	64.6	79.4	83.7	101	106	139	146	153
2.4	9.13	14.3	19.1	26.6	35.2	45.2	48.0	60.1	63.5	77.8	82.2	98.7	104	136	143	150
2.6	8.93	14.0	18.7	26.2	34.6	44.4	47.1	59.1	62.4	76.3	80.6	96.8	102	133	140	147
2.8	8.74	13.6	18.3	25.7	34.0	43.6	46.3	58.0	61.3	74.9	79.2	94.8	100	131	137	144
3.0	8.54	13.3	17.8	25.2	33.4	42.8	45.5	57.0	60.2	73.5	77.7	92.9	98.1	128	135	141
3.2	8.34	13.0	17.4	24.6	32.8	42.0	44.7	56.0	59.2	72.1	76.3	91.1	96.2	125	132	139
3.4	8.15	12.6	17.0	24.1	32.1	41.3	44.0	55.1	58.3	70.7	74.9	89.3	94.3	123	130	136
3.6	7.95	12.3	16.6	23.5	31.3	40.5	43.2	54.2	57.3	69.4	73.6	87.5	92.5	120	127	134
3.8	7.76	12.0	16.2	23.0	30.6	39.6	42.3	53.3	56.4	68.2	72.3	85.8	90.8	118	125	131
4.0	7.56	11.7	15.8	22.4	29.9	38.7	41.4	52.4	55.5	66.9	71.0	84.1	89.0	116	122	129
4.2	7.37	11.3	15.4	21.8	29.2	37.8	40.4	51.2	54.4	65.7	69.8	82.5	87.4	113	120	126
4.4	7.18	11.0	15.0	21.3	28.5	36.9	39.5	50.1	53.3	64.6	68.6	80.9	85.7	111	117	124
4.6	6.98	10.7	14.5	20.8	27.8	36.0	38.6	49.0	52.2	63.2	67.3	79.4	84.1	109	115	121
4.8	6.79	10.4	14.1	20.2	27.1	35.1	37.7	48.0	51.0	61.8	65.8	77.8	82.6	107	113	119
5.0	6.60	10.0	13.7	19.7	26.4	34.2	36.8	46.9	49.9	60.3	64.4	76.4	81.1	105	111	117
5.2	6.41	9.64	13.3	19.1	25.7	33.3	35.9	45.8	48.8	58.8	62.9	74.5	79.3	103	109	115
5.4	6.19	9.26	12.9	18.6	25.0	32.4	35.0	44.7	47.7	57.4	61.4	72.6	77.4	101	107	113
5.6	5.96	8.92	12.4	18.0	24.3	31.6	34.1	43.6	46.6	55.9	59.9	70.7	75.4	98.7	105	111
5.8	5.75	8.60	11.9	17.3	23.5	30.7	33.2	42.5	45.5	54.5	58.4	68.8	73.5	96.2	102	108
6.0	5.55	8.31	11.5	16.7	22.6	29.6	32.3	41.5	44.4	53.0	56.9	66.9	71.6	93.7	100	106
6.2	5.37	8.03	11.1	16.2	21.9	28.6	31.2	40.4	43.3	51.5	55.5	65.0	69.7	91.2	97.2	103
6.4	5.20	7.78	10.8	15.6	21.2	27.6	30.1	39.1	42.2	49.8	53.9	62.7	67.5	88.5	94.6	101
6.6	5.04	7.53	10.4	15.1	20.5	26.8	29.2	37.9	40.9	48.1	52.1	60.6	65.3	85.5	91.7	97.9
6.8	4.89	7.31	10.1	14.7	19.9	25.9	28.3	36.7	39.6	46.6	50.5	58.6	63.2	82.7	88.7	94.7
7.0	4.75	7.09	9.83	14.3	19.3	25.2	27.4	35.6	38.4	45.1	48.9	56.8	61.2	80.1	85.9	91.8
7.2	4.61	6.89	9.55	13.8	18.7	24.4	26.6	34.5	37.3	43.8	47.5	55.1	59.3	77.6	83.3	89.0
7.4	4.49	6.70	9.29	13.5	18.2	23.7	25.9	33.5	36.2	42.5	46.1	53.5	57.6	75.3	80.8	86.3
7.6	4.37	6.52	9.04	13.1	17.7	23.1	25.2	32.6	35.2	41.3	44.8	52.0	56.0	73.2	78.5	83.8
7.8	4.25	6.35	8.80	12.7	17.2	22.5	24.5	31.7	34.2	40.2	43.6	50.5	54.4	71.1	76.3	81.5
8.0	4.15	6.19	8.57	12.4	16.8	21.9	23.9	30.9	33.3	39.1	42.4	49.2	53.0	69.2	74.2	79.3
8.2	4.04	6.04	8.36	12.1	16.3	21.3	23.3	30.1	32.5	38.1	41.3	47.9	51.6	67.3	72.2	77.2
8.4	3.95	5.89	8.16	11.8	15.9	20.8	22.7	29.4	31.7	37.2	40.3	46.7	50.3	65.6	70.4	75.2
8.6	3.85	5.75	7.97	11.5	15.6	20.3	22.1	28.6	30.9	36.3	39.3	45.5	49.0	64.0	68.6	73.4
8.8	3.77	5.62	7.78	11.3	15.2	19.8	21.6	28.0	30.2	35.4	38.4	44.4	47.9	62.4	67.0	71.6
9.0	3.68	5.49	7.61	11.0	14.9	19.4	21.1	27.3	29.5	34.6	37.5	43.4	46.7	60.9	65.4	69.9
9.2	3.60	5.37	7.44	10.8	14.5	18.9	20.6	26.7	28.8	33.8	36.6	42.4	45.7	59.5	63.9	68.3
9.4	3.52	5.26	7.28	10.5	14.2	18.5	20.2	26.1	28.2	33.0	35.8	41.4	44.6	58.2	62.4	66.7
9.6	3.45	5.14	7.12	10.3	13.9	18.1	19.8	25.5	27.6	32.3	35.0	40.5	43.7	56.9	61.0	65.3
9.8	3.38	5.04	6.98	10.1	13.6	17.7	19.4	25.0	27.0	31.6	34.3	39.6	42.7	55.7	59.7	63.9
10.0	3.31	4.94	6.83	9.89	13.3	17.4	19.0	24.5	26.4	31.0	33.6	38.8	41.8	54.5	58.5	62.5

续表

型号	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
2.0	179	188	198	212	223	234	282	296	309	370	387	404	469	490	511	601	627	686
2.2	176	185	194	208	218	229	277	291	304	364	380	397	461	481	502	591	617	675
2.4	172	181	190	204	214	225	272	285	298	358	374	390	453	473	494	581	606	663
2.6	169	178	186	200	210	220	266	279	292	351	367	383	444	464	485	570	595	650
2.8	165	174	183	195	205	215	261	274	286	344	360	376	436	456	476	560	584	637
3.0	162	170	179	191	201	211	255	268	280	338	353	369	427	447	466	549	573	624
3.2	158	167	175	187	197	206	250	262	275	331	346	361	419	438	457	538	561	611
3.4	155	163	172	183	192	202	245	257	269	324	339	354	410	429	448	527	550	598
3.6	152	160	168	179	188	198	239	251	263	318	332	347	402	420	439	515	538	584
3.8	148	157	165	175	184	193	234	246	257	311	325	340	393	411	430	504	526	571
4.0	145	153	161	171	180	189	229	240	252	304	319	333	384	402	420	493	515	557
4.2	142	150	158	167	176	185	223	235	246	298	312	326	376	394	411	481	503	544
4.4	139	147	155	163	172	181	218	230	241	292	306	320	367	385	402	470	492	531
4.6	136	144	152	159	168	177	213	225	236	285	299	313	359	376	394	459	480	517
4.8	133	141	149	155	164	173	208	219	230	279	293	306	351	368	385	448	469	504
5.0	130	138	145	152	160	169	203	214	225	273	286	300	343	359	376	437	457	491
5.2	127	135	143	148	156	165	199	210	220	267	280	294	335	351	368	426	446	478
5.4	125	132	140	145	153	161	194	205	215	261	274	287	327	343	359	416	435	466
5.6	122	129	137	141	149	158	189	200	210	255	268	281	319	335	351	405	424	453
5.8	119	127	134	138	146	154	185	195	205	250	262	275	311	327	343	394	413	441
6.0	117	124	131	135	142	151	180	191	201	244	257	269	304	319	335	384	402	428
6.2	114	121	129	131	139	147	176	186	196	239	251	263	296	311	327	374	392	415
6.4	110	118	126	127	135	143	171	181	191	233	245	258	289	304	319	363	381	401
6.6	107	114	122	123	131	139	166	176	186	228	240	252	280	295	311	351	368	387
6.8	103	110	118	120	128	136	161	171	181	221	233	246	272	286	302	340	357	375
7.0	100	107	114	117	124	132	157	167	176	215	227	239	264	278	293	329	346	364
7.2	96.6	104	111	113	120	128	153	162	171	210	221	233	257	271	285	320	336	353
7.4	93.7	100	107	109	117	124	149	159	167	204	216	227	250	264	278	311	327	344
7.6	91.0	97.5	104	106	113	121	145	155	163	199	211	222	244	257	271	302	318	335
7.8	88.4	94.7	101	103	110	117	141	150	159	195	206	217	238	251	264	295	310	326
8.0	85.9	92.1	98.4	100	107	114	137	146	155	190	201	212	232	245	258	287	302	318
8.2	83.6	89.7	95.8	97.5	104	111	133	142	151	185	196	207	227	240	252	280	295	310
8.4	81.5	87.3	93.3	94.9	101	108	130	138	147	180	190	201	222	234	247	274	288	303
8.6	79.4	85.1	90.9	92.5	98.7	105	126	135	143	175	185	196	217	230	242	268	282	297
8.8	77.4	83.0	88.7	90.2	96.2	103	123	131	139	170	181	191	213	225	237	262	276	290
9.0	75.6	81.0	86.6	88.0	93.9	100	120	128	136	166	176	186	208	220	232	257	270	284
9.2	73.8	79.1	84.5	85.9	91.6	97.8	117	125	132	162	172	182	203	215	227	252	265	279
9.4	72.1	77.3	82.6	83.9	89.5	95.6	114	122	129	158	168	177	198	210	222	247	260	273
9.6	70.5	75.6	80.8	82.0	87.5	93.4	112	119	126	155	164	173	193	205	216	242	255	268
9.8	69.0	73.9	79.0	80.2	85.6	91.4	109	117	124	151	160	169	189	200	211	238	250	263
10.0	67.5	72.4	77.3	78.4	83.7	89.4	107	114	121	148	157	166	185	196	207	234	246	259

注：同表 19-1

4）Q235 钢热轧普通工字钢简支梁（跨中无侧向支承，均布荷载作用于下翼缘）整体稳定时的承载力矩设计值（kN·m）

表 19-4

型号	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
2.0	10.0	16.5	21.8	30.3	40.0	51.3	54.2	67.5	71.0	87.5	92.1	111	117	152	159	167
2.2	9.89	16.4	21.6	30.1	39.7	50.9	53.8	67.0	70.5	86.8	91.4	110	116	151	158	166
2.4	9.74	15.3	21.5	29.9	39.4	50.5	53.4	66.5	70.0	86.2	90.8	109	115	149	157	164
2.6	9.60	15.1	20.0	29.6	39.1	50.1	53.0	66.0	69.5	85.5	90.1	108	114	148	156	163
2.8	9.46	14.8	19.7	29.4	38.8	49.7	52.6	65.5	69.0	84.8	89.4	107	113	147	155	162
3.0	9.32	14.6	19.4	27.2	38.5	49.3	52.2	65.0	68.5	84.2	88.7	107	112	146	153	161
3.2	9.18	14.4	19.1	26.8	35.6	49.0	51.9	64.6	68.1	83.5	88.1	106	111	145	152	160
3.4	9.04	14.1	18.8	26.4	35.1	48.6	51.5	64.1	67.6	82.9	87.4	105	111	144	151	158
3.6	8.90	13.9	18.5	26.1	34.6	44.5	47.3	63.7	67.2	82.3	86.8	104	110	143	150	157
3.8	8.76	13.6	18.2	25.7	34.1	43.9	46.6	63.2	66.7	81.7	86.2	103	109	141	149	156
4.0	8.62	13.4	17.9	25.3	33.6	43.2	46.0	57.7	66.3	81.1	85.6	103	108	140	148	155
4.2	8.49	13.2	17.7	24.9	33.0	42.6	45.3	57.0	60.3	80.5	85.0	102	107	139	147	154
4.4	8.35	12.9	17.4	24.5	32.5	41.9	44.7	56.2	59.5	80.0	84.4	101	107	138	145	153
4.6	8.21	12.7	17.1	24.1	32.0	41.3	44.0	55.4	58.7	71.5	75.9	100	106	137	144	152
4.8	8.07	12.5	16.8	23.7	31.5	40.6	43.4	54.6	57.9	70.5	74.8	99.5	105	136	143	150
5.0	7.93	12.2	16.5	23.3	31.0	40.0	42.7	53.8	57.1	69.4	73.7	87.9	104	135	142	149
5.2	7.80	12.0	16.2	22.9	30.5	39.4	42.1	53.0	56.3	68.4	72.7	86.6	91.8	134	141	148
5.4	7.66	11.8	15.9	22.5	30.0	38.7	41.4	52.3	55.5	67.4	71.6	85.2	90.4	133	140	147
5.6	7.52	11.6	15.6	22.1	29.5	38.1	40.8	51.5	54.7	66.3	70.5	83.9	89.0	116	139	146
5.8	7.38	11.3	15.3	21.8	29.0	37.5	40.1	50.7	53.9	65.3	69.5	82.6	87.6	114	121	127
6.0	7.25	11.1	15.0	21.4	28.5	36.9	39.5	50.0	53.1	64.3	68.4	81.2	86.3	112	119	126
6.2	7.11	10.9	14.8	21.0	28.0	36.2	38.9	49.2	52.3	63.2	67.4	79.9	84.9	111	117	124
6.4	6.97	10.6	14.5	20.6	27.5	35.6	38.2	48.4	51.6	62.2	66.3	78.6	83.6	109	115	122
6.6	6.84	10.4	14.2	20.2	27.0	35.0	37.6	47.7	50.8	61.2	65.3	77.2	82.2	107	114	120
6.8	6.70	10.2	13.9	19.8	26.5	34.3	36.9	46.9	50.0	60.1	64.2	75.9	80.8	105	112	118
7.0	6.56	9.93	13.6	19.4	26.0	33.7	36.3	46.1	49.2	59.1	63.2	74.6	79.5	104	110	116
7.2	6.43	9.65	13.3	19.1	25.5	33.1	35.7	45.4	48.4	58.1	62.1	73.3	78.1	102	108	114
7.4	6.28	9.38	13.0	18.7	25.0	32.5	35.0	44.6	47.6	57.1	61.1	71.9	76.8	100	106	113
7.6	6.12	9.13	12.7	18.3	24.6	31.9	34.4	43.8	46.9	56.1	60.1	70.6	75.4	98.3	105	111
7.8	5.96	8.89	12.3	17.8	24.1	31.2	33.8	43.1	46.1	55.0	59.0	69.3	74.1	96.5	103	109
8.0	5.81	8.67	12.0	17.4	23.5	30.6	33.1	42.3	45.3	54.0	58.0	68.0	72.7	94.8	101	107
8.2	5.66	8.45	11.7	16.9	22.9	29.8	32.5	41.6	44.5	53.0	57.0	66.7	71.4	93.0	99.1	105
8.4	5.53	8.25	11.4	16.5	22.3	29.1	31.8	40.8	43.8	52.0	55.9	65.3	70.1	91.3	97.3	103
8.6	5.40	8.05	11.2	16.1	21.8	28.4	31.0	40.1	43.0	50.8	54.9	63.7	68.7	89.5	95.5	102
8.8	5.27	7.87	10.9	15.8	21.3	27.7	30.3	39.1	42.2	49.6	53.7	62.2	67.0	87.4	93.8	99.7
9.0	5.15	7.69	10.6	15.4	20.8	27.1	29.6	38.2	41.3	48.4	52.5	60.7	65.4	85.3	91.5	97.9
9.2	5.04	7.52	10.4	15.1	20.3	26.5	28.9	37.4	40.4	47.3	51.3	59.3	63.9	83.3	89.4	95.6
9.4	4.93	7.36	10.2	14.7	19.9	25.9	28.3	36.6	39.5	46.2	50.1	58.0	62.5	81.4	87.4	93.4
9.6	4.83	7.20	9.97	14.4	19.5	25.4	27.7	35.8	38.6	45.2	49.0	56.7	61.1	79.6	85.5	91.4
9.8	4.73	7.05	9.77	14.1	19.1	24.8	27.1	35.0	37.8	44.3	48.0	55.5	59.8	77.9	83.6	89.4
10.0	4.63	6.91	9.57	13.8	18.7	24.3	26.5	34.3	37.0	43.4	47.0	54.3	58.6	76.3	81.9	87.5

续表

型号	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
2.0	193	202	212	227	239	250	301	315	330	392	410	428	495	517	539	632	660	725
2.2	191	201	210	226	237	248	299	313	327	390	407	425	492	514	536	628	656	720
2.4	190	199	208	224	235	246	297	311	325	387	404	422	488	510	532	624	652	715
2.6	188	197	207	222	233	244	294	308	322	384	401	419	485	507	529	620	647	710
2.8	186	196	205	220	231	242	292	306	320	381	398	416	481	503	525	615	643	705
3.0	185	194	204	218	229	240	290	303	317	378	395	413	478	499	521	611	638	699
3.2	183	193	202	216	227	238	287	301	315	375	392	409	474	495	517	606	633	693
3.4	182	191	200	215	225	236	285	299	312	373	389	406	470	492	513	601	628	688
3.6	180	190	199	213	224	234	282	296	310	370	386	403	467	488	509	596	623	682
3.8	179	188	197	211	222	232	280	294	307	367	383	400	463	484	505	592	618	676
4.0	177	187	196	209	220	231	278	291	305	364	380	397	459	480	501	587	613	670
4.2	176	185	194	207	218	229	275	289	302	361	377	394	455	476	497	582	608	665
4.4	175	184	193	206	216	227	273	287	300	358	375	391	452	472	493	577	603	659
4.6	173	182	191	204	214	225	271	284	297	355	372	388	448	468	489	572	598	653
4.8	172	181	190	202	213	223	269	282	295	352	369	385	444	465	485	567	593	647
5.0	171	179	188	201	211	221	266	280	293	350	366	382	441	461	481	562	588	641
5.2	169	178	187	199	209	220	264	277	290	347	363	379	437	457	477	557	583	636
5.4	168	177	186	197	207	218	262	275	288	344	360	376	433	453	474	553	578	630
5.6	167	175	184	196	206	216	260	273	286	342	358	374	430	450	470	548	573	624
5.8	165	174	183	194	204	214	258	271	284	339	355	371	426	446	466	543	568	619
6.0	164	173	182	192	203	213	256	269	281	336	352	368	423	443	462	538	563	613
6.2	139	172	180	191	201	211	254	266	279	334	349	365	419	439	459	534	558	608
6.4	137	145	153	189	199	210	252	264	277	331	347	363	416	436	455	529	553	602
6.6	135	143	151	188	198	208	249	262	275	329	344	360	413	432	452	525	549	597
6.8	132	140	148	186	196	206	248	260	273	326	342	357	409	429	448	520	544	592
7.0	130	138	146	153	161	205	246	258	271	324	339	355	406	425	445	516	539	586
7.2	128	136	143	150	159	168	244	256	269	321	337	352	403	422	441	511	535	581
7.4	125	133	141	147	156	165	242	254	267	319	334	350	399	419	438	507	530	576
7.6	123	131	139	144	153	162	195	252	265	316	332	347	396	415	434	502	526	571
7.8	121	128	136	141	150	159	191	202	213	314	329	345	393	412	431	498	521	566
8.0	118	126	134	139	147	156	187	199	209	254	327	342	390	409	428	494	517	561
8.2	116	124	131	136	144	153	184	195	206	249	263	276	387	406	424	490	513	556
8.4	114	121	129	133	141	150	180	191	202	245	258	272	384	402	421	485	508	551
8.6	111	119	127	129	138	147	177	188	198	241	254	267	381	399	418	481	504	546
8.8	108	116	124	126	135	144	172	184	194	236	249	262	378	396	415	477	500	541
9.0	106	113	121	123	131	140	168	179	190	232	245	258	290	307	412	473	495	536
9.2	103	111	118	120	128	137	164	175	185	227	240	253	284	301	317	469	491	531
9.4	101	108	116	117	125	134	160	171	181	222	235	248	277	294	310	465	487	527
9.6	98.7	106	113	115	122	131	156	167	177	216	230	243	270	287	303	461	483	522
9.8	96.5	104	111	112	120	128	153	163	173	212	224	237	264	280	296	457	479	517
10.0	94.5	101	108	110	117	125	150	160	169	207	219	232	258	274	289	453	475	513

注：同表 19-1

5）Q235钢热轧普通工字钢简支梁（跨中有侧向支承，不论荷载作用点在截面高度上的位置）整体稳定时的承载力矩设计值（kN·m）

表 19-5

型号	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
2.0	10.3	16.3	21.5	30.0	39.7	50.9	53.9	67.1	70.6	87.1	91.7	110	116	151	159	166
2.2	10.2	16.1	21.3	29.7	39.3	50.4	53.3	66.5	70.0	86.3	90.9	109	115	150	157	165
2.4	10.1	15.9	21.1	29.4	38.9	49.9	52.8	65.8	69.4	85.5	90.1	108	114	149	156	164
2.6	10.0	15.7	20.8	29.1	38.5	49.4	52.3	65.2	68.8	84.6	89.2	107	113	147	155	162
2.8	9.90	15.5	20.6	28.8	38.1	48.9	51.8	64.6	68.1	83.8	88.4	106	112	146	153	161
3.0	9.79	15.4	20.4	28.5	37.7	48.4	51.3	64.0	67.5	83.0	87.6	105	111	144	152	159
3.2	9.68	15.2	20.2	28.2	37.3	47.9	50.8	63.4	66.9	82.2	86.7	104	110	143	150	158
3.4	9.58	15.0	19.9	27.9	36.9	47.4	50.3	62.8	66.3	81.4	85.9	103	109	142	149	156
3.6	9.47	14.8	19.7	27.6	36.5	46.9	49.8	62.2	65.6	80.6	85.1	102	108	140	148	155
3.8	9.36	14.6	19.5	27.3	36.1	46.4	49.3	61.6	65.0	79.8	84.2	101	107	139	146	153
4.0	9.26	14.5	19.3	27.0	35.7	45.9	48.8	61.0	64.4	78.9	83.4	100	106	137	145	152
4.2	9.15	14.3	19.0	26.7	35.3	45.4	48.3	60.4	63.8	78.1	82.6	99	105	136	143	150
4.4	9.05	14.1	18.8	26.4	35.0	44.9	47.8	59.8	63.2	77.3	81.8	98	103	135	142	149
4.6	8.94	13.9	18.6	26.1	34.6	44.5	47.3	59.2	62.6	76.5	81.0	97	102	133	140	147
4.8	8.84	13.8	18.4	25.8	34.2	44.0	46.8	58.6	62.0	75.7	80.1	95.9	101	132	139	146
5.0	8.73	13.6	18.1	25.5	33.8	43.5	46.3	58.0	61.4	74.9	79.3	94.9	100	131	138	145
5.2	8.63	13.4	17.9	25.2	33.4	43.0	45.8	57.4	60.8	74.1	78.5	93.9	99.2	129	136	143
5.4	8.53	13.2	17.7	24.9	33.0	42.5	45.3	56.8	60.2	73.4	77.7	92.8	98.2	128	135	142
5.6	8.42	13.1	17.5	24.6	32.7	42.0	44.8	56.2	59.6	72.6	76.9	91.8	97.2	126	133	140
5.8	8.32	12.9	17.3	24.3	32.3	41.6	44.3	55.6	59.0	71.8	76.1	90.8	96.1	125	132	139
6.0	8.21	12.7	17.0	24.0	31.9	41.1	43.8	55.1	58.4	71.0	75.3	89.8	95.1	124	131	137
6.2	8.11	12.5	16.8	23.7	31.5	40.6	43.3	54.5	57.8	70.2	74.5	88.8	94.0	122	129	136
6.4	8.01	12.4	16.6	23.4	31.2	40.1	42.9	53.9	57.2	69.4	73.7	87.8	93.0	121	128	135
6.6	7.90	12.2	16.4	23.1	30.8	39.7	42.4	53.3	56.6	68.6	72.9	86.8	92.0	120	126	133
6.8	7.80	12.0	16.2	22.8	30.4	39.2	41.9	52.7	56.0	67.9	72.1	85.7	90.9	118	125	132
7.0	7.69	11.8	16.0	22.6	30.0	38.7	41.4	52.2	55.4	67.1	71.3	84.7	89.9	117	124	130
7.2	7.59	11.7	15.7	22.3	29.6	38.2	40.9	51.6	54.8	66.3	70.5	83.7	88.9	116	122	129
7.4	7.49	11.5	15.5	22.0	29.3	37.8	40.4	51.0	54.2	65.5	69.8	82.7	87.9	114	121	128
7.6	7.38	11.3	15.3	21.7	28.9	37.3	40.0	50.4	53.6	64.8	69.0	81.7	86.8	113	120	126
7.8	7.28	11.1	15.1	21.4	28.5	36.8	39.5	49.8	53.0	64.0	68.2	80.7	85.8	112	118	125
8.0	7.18	11.0	14.9	21.1	28.1	36.3	39.0	49.3	52.4	63.2	67.4	79.7	84.8	110	117	123
8.2	7.07	10.8	14.6	20.8	27.8	35.9	38.5	48.7	51.8	62.4	66.6	78.7	83.8	109	115	122
8.4	6.97	10.6	14.4	20.5	27.4	35.4	38.0	48.1	51.2	61.7	65.8	77.7	82.8	108	114	121
8.6	6.86	10.4	14.2	20.2	27.0	34.9	37.5	47.5	50.7	60.9	65.0	76.8	81.7	106	113	119
8.8	6.76	10.3	14.0	19.9	26.7	34.5	37.1	47.0	50.1	60.1	64.2	75.8	80.7	105	111	118
9.0	6.66	10.1	13.8	19.6	26.3	34.0	36.6	46.4	49.5	59.4	63.5	74.8	79.7	104	110	116
9.2	6.55	9.89	13.6	19.4	25.9	33.5	36.1	45.8	48.9	58.6	62.7	73.8	78.7	102	109	115
9.4	6.45	9.68	13.3	19.1	25.5	33.0	35.6	45.2	48.3	57.8	61.9	72.8	77.7	101	107	114
9.6	6.35	9.48	13.1	18.8	25.2	32.6	35.1	44.7	47.7	57.1	61.1	71.8	76.7	99.6	106	112
9.8	6.22	9.28	12.8	18.5	24.8	32.1	34.7	44.1	47.1	56.3	60.3	70.8	75.7	98.3	105	111
10.0	6.10	9.09	12.6	18.2	24.4	31.6	34.2	43.5	46.6	55.5	59.6	69.8	74.6	97.0	103	110

续表

型号	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
2.0	192	201	211	227	238	249	300	315	329	392	409	427	494	517	539	632	660	724
2.2	190	200	209	225	236	247	298	312	326	389	406	424	491	513	535	627	655	719
2.4	189	198	207	223	234	245	296	310	324	386	403	420	487	509	531	623	650	714
2.6	187	196	206	221	232	243	293	307	321	383	400	417	483	505	527	618	646	708
2.8	185	194	204	219	230	241	290	304	318	379	397	414	479	501	523	613	640	702
3.0	183	193	202	217	227	238	288	301	315	376	393	410	475	497	518	608	635	696
3.2	181	191	200	214	225	236	285	299	312	373	390	407	471	492	514	603	630	690
3.4	180	189	198	212	223	234	282	296	309	369	386	403	467	488	509	598	624	684
3.6	178	187	196	210	221	232	279	293	306	366	383	400	463	484	505	592	619	677
3.8	176	185	194	208	218	229	277	290	303	363	379	396	458	479	500	587	613	671
4.0	174	183	192	206	216	227	274	287	301	359	376	392	454	475	496	581	607	664
4.2	172	181	190	204	214	225	271	284	298	356	372	389	450	470	491	576	601	657
4.4	171	179	189	201	212	222	268	281	295	352	369	385	445	466	486	570	596	651
4.6	169	178	187	199	209	220	265	278	292	349	365	381	441	461	482	564	590	644
4.8	167	176	185	197	207	218	262	276	289	345	362	378	436	457	477	559	584	637
5.0	165	174	183	195	205	215	260	273	286	342	358	374	432	452	472	553	578	630
5.2	163	172	181	193	203	213	257	270	283	339	354	371	427	447	468	547	572	624
5.4	161	170	179	190	200	211	254	267	280	335	351	367	423	443	463	541	566	617
5.6	160	168	177	188	198	208	251	264	277	332	347	363	419	438	458	536	560	610
5.8	158	167	175	186	196	206	248	261	274	328	344	360	414	434	454	530	554	603
6.0	156	165	173	184	194	204	246	258	271	325	340	356	410	429	449	524	548	596
6.2	154	163	172	182	192	202	243	255	268	321	337	352	405	425	444	518	542	590
6.4	153	161	170	180	189	199	240	253	265	318	333	349	401	420	440	512	536	583
6.6	151	159	168	177	187	197	237	250	262	314	330	345	396	416	435	507	530	576
6.8	149	157	166	175	185	195	234	247	259	311	326	342	392	411	430	501	524	569
7.0	147	156	164	173	183	193	232	244	256	308	323	338	388	407	426	495	518	563
7.2	145	154	162	171	181	190	229	241	253	304	319	334	383	402	421	489	513	556
7.4	144	152	160	169	178	188	226	238	250	301	316	331	379	398	416	484	507	549
7.6	142	150	159	167	176	186	223	236	248	297	312	327	374	393	412	478	501	542
7.8	140	148	157	165	174	184	221	233	245	294	309	324	370	389	407	472	495	536
8.0	138	147	155	162	172	181	218	230	242	291	305	320	366	384	403	466	489	529
8.2	137	145	153	160	170	179	215	227	239	287	302	317	361	380	398	461	483	522
8.4	135	143	151	158	167	177	212	224	236	284	299	313	357	375	393	455	477	515
8.6	133	141	149	156	165	175	210	222	233	281	295	310	353	371	389	449	471	509
8.8	132	140	148	154	163	172	207	219	230	277	292	306	348	366	384	444	466	502
9.0	130	138	146	152	161	170	204	216	227	274	288	303	344	362	380	438	460	495
9.2	128	136	144	150	159	168	202	213	225	271	285	299	340	357	375	432	454	489
9.4	126	134	142	148	157	166	199	210	222	267	281	296	335	353	371	427	448	482
9.6	125	132	140	146	154	164	196	208	219	264	278	292	331	349	366	421	442	475
9.8	123	131	139	144	152	161	193	205	216	261	275	289	327	344	362	415	436	469
10.0	121	129	137	141	150	159	191	202	213	257	271	285	322	340	357	410	431	462

注：同表 19-1。

6）Q235 钢热轧普通槽钢简支梁整体稳定时的承载力矩设计值（kN·m）

表 19-6

型号	[8	[10	[12.6	[14a	[14b	[16a	[16b	[18a	[18b	[20a	[20b	[22a	[22b
2.0	4.57	7.06	10.7	14.2	15.5	19.1	20.8	24.9	27.1	31.5	34.2	39	42
2.2	4.44	6.86	10.4	13.7	15.0	18.5	20.1	24.2	26.3	30.6	33.2	37	41
2.4	4.32	6.65	10.0	13.3	14.6	17.9	19.5	23.4	25.5	29.6	32.2	36	39
2.6	4.19	6.44	9.69	12.9	14.1	17.3	18.9	22.7	24.7	28.7	31.2	35	38
2.8	4.07	6.23	9.34	12.4	13.7	16.7	18.3	21.9	23.9	27.7	30.2	34	37
3.0	3.94	6.03	8.99	12.0	13.2	16.1	17.7	21.2	23.1	26.8	29.2	33	36
3.2	3.82	5.82	8.65	11.6	12.8	15.6	17.1	20.4	22.3	25.9	28.2	32	35
3.4	3.69	5.61	8.30	11.1	12.3	15.0	16.5	19.6	21.5	24.9	27.3	31	33
3.6	3.57	5.41	7.95	10.7	11.8	14.4	15.9	18.9	20.7	24.0	26.3	29	32
3.8	3.44	5.20	7.53	10.2	11.4	13.8	15.2	18.1	19.9	23.0	25.3	28	31
4.0	3.32	4.96	7.16	9.71	10.9	13.1	14.5	17.2	19.0	21.9	24.2	27	30
4.2	3.17	4.73	6.82	9.24	10.3	12.4	13.8	16.4	18.1	20.9	23.0	26	28
4.4	3.03	4.51	6.51	8.82	9.88	11.9	13.2	15.6	17.3	19.9	22.0	24	27
4.6	2.90	4.32	6.22	8.44	9.45	11.4	12.6	14.9	16.6	19.0	21.0	23	26
4.8	2.78	4.14	5.96	8.09	9.05	10.9	12.1	14.3	15.9	18.2	20.2	22.4	25
5.0	2.67	3.97	5.73	7.77	8.69	10.5	11.6	13.7	15.2	17.5	19.4	21.5	24
5.2	2.56	3.82	5.50	7.47	8.36	10.0	11.2	13.2	14.6	16.8	18.6	20.6	22.8
5.4	2.47	3.68	5.30	7.19	8.05	9.68	10.8	12.7	14.1	16.2	17.9	19.9	21.9
5.6	2.38	3.54	5.11	6.93	7.76	9.33	10.4	12.3	13.6	15.6	17.3	19.2	21.1
5.8	2.30	3.42	4.94	6.69	7.49	9.01	10.0	11.9	13.1	15.1	16.7	18.5	20.4
6.0	2.22	3.31	4.77	6.47	7.24	8.71	9.69	11.5	12.7	14.6	16.1	17.9	19.7
6.2	2.15	3.20	4.62	6.26	7.01	8.43	9.38	11.1	12.3	14.1	15.6	17.3	19.1
6.4	2.08	3.10	4.47	6.07	6.79	8.17	9.09	10.7	11.9	13.7	15.1	16.8	18.5
6.6	2.02	3.01	4.34	5.88	6.58	7.92	8.81	10.4	11.5	13.3	14.7	16.3	17.9
6.8	1.96	2.92	4.21	5.71	6.39	7.69	8.55	10.1	11.2	12.9	14.2	15.8	17.4
7.0	1.90	2.84	4.09	5.55	6.21	7.47	8.31	9.82	10.9	12.5	13.8	15.3	16.9
7.2	1.85	2.76	3.98	5.39	6.04	7.26	8.08	9.55	10.6	12.2	13.4	14.9	16.4
7.4	1.80	2.68	3.87	5.25	5.87	7.06	7.86	9.29	10.3	11.8	13.1	14.5	16.0
7.6	1.75	2.61	3.77	5.11	5.72	6.88	7.65	9.04	10.0	11.5	12.7	14.1	15.6
7.8	1.71	2.54	3.67	4.98	5.57	6.70	7.46	8.81	9.76	11.2	12.4	13.8	15.2
8.0	1.67	2.48	3.58	4.85	5.43	6.53	7.27	8.59	9.52	10.9	12.1	13.4	14.8
8.2	1.63	2.42	3.49	4.73	5.30	6.37	7.09	8.38	9.29	10.7	11.8	13.1	14.4
8.4	1.59	2.36	3.41	4.62	5.17	6.22	6.92	8.18	9.07	10.4	11.5	12.8	14.1
8.6	1.55	2.31	3.33	4.51	5.05	6.08	6.76	7.99	8.86	10.2	11.3	12.5	13.8
8.8	1.52	2.26	3.25	4.41	4.94	5.94	6.61	7.81	8.65	10.0	11.0	12.2	13.4
9.0	1.48	2.21	3.18	4.31	4.83	5.81	6.46	7.64	8.46	9.73	10.8	11.9	13.1
9.2	1.45	2.16	3.11	4.22	4.72	5.68	6.32	7.47	8.28	9.52	10.5	11.7	12.9
9.4	1.42	2.11	3.05	4.13	4.62	5.56	6.19	7.31	8.10	9.32	10.3	11.4	12.6
9.6	1.39	2.07	2.98	4.04	4.53	5.44	6.06	7.16	7.93	9.12	10.1	11.2	12.3
9.8	1.36	2.03	2.92	3.96	4.43	5.33	5.93	7.01	7.77	8.94	9.87	11.0	12.1
10.0	1.33	1.99	2.86	3.88	4.35	5.23	5.81	6.87	7.62	8.76	9.68	10.7	11.8

续表

型号	[25a	[25b	[25c	[28a	[28b	[28c	[32a	[32b	[32c	[36a	[36b	[36c	[40a	[40b	[40c
2.0	46.5	50.6	54.6	58.4	63.4	68.4	78.2	84.5	90.8	113	121	130	153	163	173
2.2	45.0	49.0	53.0	56.4	61.3	66.2	75.8	81.9	88.1	110	118	126	149	159	169
2.4	43.5	47.4	51.3	54.4	59.2	64.1	73.3	79.3	85.4	107	115	123	145	155	165
2.6	42.0	45.8	49.6	52.5	57.1	61.9	70.8	76.7	82.7	104	112	119	141	151	161
2.8	40.4	44.2	47.9	50.5	55.1	59.7	68.3	74.1	80.0	101	108	116	137	147	156
3.0	38.9	42.6	46.2	48.5	53.0	57.6	65.9	71.5	77.3	97.7	105	113	133	143	152
3.2	37.4	41.0	44.6	46.5	50.9	55.4	63.4	68.9	74.6	94.5	102	109	129	139	148
3.4	35.9	39.3	42.9	44.6	48.8	53.2	60.9	66.3	71.9	91.4	98.5	106	125	134	144
3.6	34.2	37.7	41.2	42.3	46.7	51.0	58.4	63.8	69.2	88.3	95.3	102	121	130	139
3.8	32.4	35.9	39.4	40.1	44.2	48.5	55.6	61.0	66.5	85.1	92.0	99.0	118	126	135
4.0	30.8	34.1	37.4	38.1	42.0	46.1	52.8	57.9	63.2	82.0	88.7	95.6	114	122	131
4.2	29.4	32.4	35.6	36.3	40.0	43.9	50.3	55.2	60.2	78.3	85.2	92.1	110	118	126
4.4	28.0	31.0	34.0	34.6	38.2	41.9	48.0	52.6	57.5	74.8	81.3	88.1	105	114	122
4.6	26.8	29.6	32.5	33.1	36.5	40.1	45.9	50.4	55.0	71.5	77.8	84.2	100	109	117
4.8	25.7	28.4	31.2	31.7	35.0	38.4	44.0	48.3	52.7	68.5	74.5	80.7	96.3	104	112
5.0	24.7	27.3	29.9	30.5	33.6	36.9	42.2	46.3	50.6	65.8	71.5	77.5	92.4	100	108
5.2	23.7	26.2	28.8	29.3	32.3	35.4	40.6	44.5	48.6	63.3	68.8	74.5	88.9	96.1	104
5.4	22.8	25.2	27.7	28.2	31.1	34.1	39.1	42.9	46.8	60.9	66.2	71.8	85.6	92.6	99.8
5.6	22.0	24.3	26.7	27.2	30.0	32.9	37.7	41.4	45.2	58.7	63.9	69.2	82.5	89.3	96.2
5.8	21.3	23.5	25.8	26.3	29.0	31.8	36.4	39.9	43.6	56.7	61.7	66.8	79.7	86.2	92.9
6.0	20.5	22.7	25.0	25.4	28.0	30.7	35.2	38.6	42.1	54.8	59.6	64.6	77.0	83.3	89.8
6.2	19.9	22.0	24.1	24.6	27.1	29.7	34.1	37.4	40.8	53.0	57.7	62.5	74.5	80.6	86.9
6.4	19.3	21.3	23.4	23.8	26.3	28.8	33.0	36.2	39.5	51.4	55.9	60.5	72.2	78.1	84.2
6.6	18.7	20.6	22.7	23.1	25.5	27.9	32.0	35.1	38.3	49.8	54.2	58.7	70.0	75.8	81.7
6.8	18.1	20.0	22.0	22.4	24.7	27.1	31.1	34.1	37.2	48.4	52.6	57.0	68.0	73.5	79.3
7.0	17.6	19.5	21.4	21.8	24.0	26.3	30.2	33.1	36.1	47.0	51.1	55.4	66.0	71.4	77.0
7.2	17.1	18.9	20.8	21.2	23.3	25.6	29.3	32.2	35.1	45.7	49.7	53.8	64.2	69.4	74.9
7.4	16.7	18.4	20.2	20.6	22.7	24.9	28.5	31.3	34.2	44.4	48.3	52.4	62.5	67.6	72.8
7.6	16.2	17.9	19.7	20.0	22.1	24.2	27.8	30.5	33.3	43.3	47.1	51.0	60.8	65.8	70.9
7.8	15.8	17.5	19.2	19.5	21.5	23.6	27.1	29.7	32.4	42.2	45.9	49.7	59.2	64.1	69.1
8.0	15.4	17.0	18.7	19.0	21.0	23.0	26.4	29.0	31.6	41.1	44.7	48.4	57.8	62.5	67.4
8.2	15.0	16.6	18.3	18.6	20.5	22.5	25.8	28.3	30.8	40.1	43.6	47.3	56.4	61.0	65.7
8.4	14.7	16.2	17.8	18.1	20.0	21.9	25.1	27.6	30.1	39.2	42.6	46.1	55.0	59.5	64.2
8.6	14.3	15.8	17.4	17.7	19.5	21.4	24.6	26.9	29.4	38.2	41.6	45.1	53.7	58.1	62.7
8.8	14.0	15.5	17.0	17.3	19.1	20.9	24.0	26.3	28.7	37.4	40.7	44.0	52.5	56.8	61.2
9.0	13.7	15.1	16.6	16.9	18.7	20.5	23.5	25.7	28.1	36.5	39.7	43.1	51.3	55.6	59.9
9.2	13.4	14.8	16.3	16.6	18.3	20.0	23.0	25.2	27.5	35.8	38.9	42.1	50.2	54.3	58.6
9.4	13.1	14.5	15.9	16.2	17.9	19.6	22.5	24.6	26.9	35.0	38.1	41.2	49.2	53.2	57.3
9.6	12.8	14.2	15.6	15.9	17.5	19.2	22.0	24.1	26.3	34.3	37.3	40.4	48.1	52.1	56.1
9.8	12.6	13.9	15.3	15.5	17.1	18.8	21.5	23.6	25.8	33.6	36.5	39.5	47.2	51.0	55.0
10.0	12.3	13.6	15.0	15.2	16.8	18.4	21.1	23.2	25.3	32.9	35.8	38.7	46.2	50.0	53.9

注：同表 19-1。

(2) 轴心受压构件的承载力设计值（稳定）

1) Q235钢 一个热轧等边角钢轴心受压（绕 x 轴）稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-7a

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L45			L50			L56			L63					L70					L75				
		4	5	6	4	5	6	4	5	8	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm²)																							
		3.49	4.29	5.08	3.90	4.80	5.69	4.39	5.42	8.37	4.98	6.14	7.29	9.51	11.66	5.57	6.88	8.16	9.42	10.67	7.41	8.80	10.16	11.50	14.13
	0.75	49.5	60.2	71.3	60.0	73.3	86.9	72.2	88.8	136	86.7	106.6	126	164	200	100.6	124	147	169	191	136	162	186	211	258
	0.80	46.7	56.7	67.2	57.2	69.9	82.8	69.7	85.6	131	84.4	103.7	123	159	195	98.4	121	143	166	187	134	159	183	207	253
	0.85	43.8	53.2	63.0	54.4	66.4	78.7	67.0	82.2	126	82.0	100.7	119	155	189	96.2	119	140	162	183	131	156	179	202	248
	0.90	41.1	49.8	59.0	51.6	62.8	74.5	64.2	78.8	121	79.5	97.5	115	150	182	93.9	116	137	158	178	129	152	175	198	243
	0.95	38.5	46.6	55.2	48.7	59.3	70.3	61.4	75.2	115	76.8	94.2	111	144	176	91.4	113	133	153	173	126	149	171	193	237
	1.00	35.9	43.5	51.5	46.0	55.9	66.3	58.6	71.7	110	74.1	90.8	107	139	169	88.9	109	129	149	168	123	145	167	189	231
	1.05	33.6	40.6	48.1	43.3	52.6	62.4	55.7	68.1	104	71.3	87.3	103	133	162	86.2	106	125	144	163	120	142	163	183	225
	1.10	31.4	37.9	44.9	40.8	49.5	58.7	52.9	64.7	98.8	68.4	83.8	98.7	128	155	83.5	103	121	140	157	116	138	158	178	218
	1.15	29.3	35.5	42.0	38.4	46.5	55.2	50.2	61.3	93.6	65.6	80.2	94.5	122	149	80.7	99.1	117	135	152	113	134	153	173	211
	1.20	27.5	33.2	39.3	36.1	43.8	51.9	47.6	58.1	88.6	62.8	76.7	90.3	117	142	77.8	95.5	113	130	146	110	129	149	167	205
	1.25	25.7	31.1	36.8	34.0	41.2	48.8	45.1	55.0	83.8	60.0	73.3	86.2	111	135	75.0	91.9	108	125	141	106	125	144	162	198
	1.30	24.1	29.1	34.5	32.0	38.8	45.9	42.7	52.0	79.3	57.2	69.9	82.2	106	129	72.1	88.4	104	120	135	103	121	139	156	191
	1.35	22.7	27.3	32.4	30.1	36.5	43.3	40.4	49.3	75.0	54.6	66.6	78.3	101	123	69.3	84.9	99.8	115	129	99.0	117	134	151	184
	1.40	21.3	25.7	30.4	28.4	34.4	40.8	38.3	46.6	71.0	52.1	63.5	74.6	96.2	117	66.5	81.4	95.7	111	124	95.4	113	129	145	177
	1.45	20.1	24.2	28.7	26.8	32.5	38.5	36.3	44.2	67.3	49.6	60.5	71.0	91.6	111	63.7	78.0	91.7	106	119	91.9	108	124	139	170
	1.50	18.9	22.8	27.0	25.4	30.7	36.4	34.4	41.9	63.8	47.3	57.7	67.7	87.2	106	61.1	74.7	87.8	101	114	88.4	104	119	134	163
	1.6	16.9	20.4	24.1	22.7	27.5	32.6	31.0	37.7	57.4	43.0	52.4	61.4	79.1	95.8	56.0	68.5	80.5	92.9	104	81.7	96.2	110	124	150
	1.7	15.2	18.3	21.6	20.5	24.8	29.3	28.1	34.1	51.9	39.1	47.7	55.9	72.0	87.1	51.4	62.8	73.7	85.1	95.4	75.4	88.8	102	114	139
	1.8	13.7	16.5	19.5	18.5	22.4	26.5	25.5	30.9	47.0	35.7	43.5	50.9	65.6	79.3	47.2	57.7	67.6	78.1	87.4	69.6	81.8	93.6	105	128
	1.9	12.4	14.9	17.7	16.8	20.3	24.1	23.2	28.2	42.8	32.7	39.7	46.6	59.9	72.4	43.4	53.0	62.1	71.7	80.3	64.2	75.5	86.3	96.7	118
	2.0	11.3	13.6	16.1	15.3	18.5	21.9	21.2	25.7	39.1	30.0	36.4	42.7	54.9	66.4	39.9	48.8	57.2	66.0	73.9	59.3	69.7	79.7	89.2	108
	2.1	10.3	12.4	14.7	14.0	16.9	20.1	19.4	23.6	35.8	27.5	33.5	39.2	50.4	61.0	36.9	45.0	52.7	60.9	68.1	54.9	64.5	73.7	82.5	100
	2.2	9.5	11.4	13.5	12.9	15.6	18.4	17.9	21.7	32.9	25.4	30.9	36.1	46.5	56.2	34.1	41.6	48.7	56.2	62.9	50.9	59.8	68.3	76.4	92.8
	2.3				11.9	14.3	17.0	16.5	20.0	30.4	23.5	28.5	33.4	42.9	51.9	31.6	38.5	45.1	52.1	58.3	47.3	55.5	63.4	70.9	86.1
	2.4				11.0	13.2	15.7	15.2	18.5	28.1	21.8	26.4	30.9	39.8	48.1	29.3	35.8	41.9	48.4	54.1	44.0	51.6	58.9	65.9	80.0
	2.5							14.1	17.2	26.1	20.2	24.6	28.7	37.0	44.6	27.3	33.3	39.0	45.0	50.3	41.0	48.1	54.9	61.4	74.6
	2.6							13.1	16.0	24.2	18.8	22.9	26.8	34.4	41.6	25.5	31.1	36.4	42.0	46.9	38.3	44.9	51.3	57.3	69.6
	2.7							12.3	14.9	22.6	17.6	21.4	25.0	32.1	38.8	23.8	29.0	34.0	39.2	43.8	35.8	42.0	47.9	53.6	65.1
	2.8										16.4	20.0	23.4	30.0	36.3	22.3	27.2	31.8	36.7	41.1	33.6	39.4	44.9	50.2	61.0
	2.9										15.4	18.7	21.9	28.1	34.0	20.9	25.5	29.8	34.5	38.5	31.5	37.0	42.2	47.2	57.2
	3.0										14.5	17.6	20.6	26.4	31.9	19.7	24.0	28.0	32.4	36.2	29.7	34.8	39.7	44.4	53.8

① ② ③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L80					L90					L100							L110				
		5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
		面积 A (cm^2)																					
		7.91	9.4	10.86	12.30	15.13	10.64	12.3	13.94	17.17	20.31	11.93	13.8	15.64	19.26	22.8	26.26	29.63	15.2	17.24	21.26	25.20	29.06
	1.0	135	160	184	208	255	190	219	248	304	359	220	254	287	353	417	479	540	286	324	399	472	544
	1.1	129	153	176	198	243	183	211	239	293	346	214	247	279	343	405	465	524	280	317	390	461	531
	1.2	122	145	167	188	230	176	203	230	281	332	207	239	270	332	392	450	507	273	309	380	449	517
	1.3	116	137	157	177	217	169	194	219	268	316	200	231	261	320	378	434	488	265	300	369	436	502
	1.4	108	128	147	166	203	161	184	209	255	300	193	222	251	307	363	416	468	257	291	358	422	486
	1.5	101	120	137	154	189	152	174	198	241	284	185	213	240	294	347	398	448	249	282	346	408	469
	1.6	94.4	111	128	144	175	144	164	186	227	267	176	203	229	280	331	379	426	240	271	333	392	451
	1.7	87.7	103	118	133	162	135	155	175	213	250	168	193	218	266	314	360	404	231	261	319	376	432
	1.8	81.3	95.8	110	123	150	127	145	164	199	234	159	183	207	252	297	340	382	221	250	305	359	413
	1.9	75.4	88.8	102	114	139	119	136	154	186	219	151	173	195	238	280	321	360	211	238	291	342	393
	2.0	69.9	82.3	94.2	106	129	111	127	144	174	204	142	164	184	224	264	302	339	201	227	277	326	374
	2.1	64.9	76.4	87.4	98.0	119	104	118	134	163	191	134	154	174	211	248	284	318	191	216	263	309	354
	2.2	60.3	71.0	81.2	91.0	111	97.3	111	125	152	178	126	145	164	199	234	267	299	181	205	250	293	336
	2.3	56.2	66.1	75.5	84.6	103	91.0	103	117	142	166	119	137	154	187	219	251	281	172	194	236	277	317
	2.4	52.3	61.6	70.4	78.9	96.0	85.2	96.8	110	133	156	112	129	145	176	206	236	264	163	184	224	262	300
x—△—x	2.5	48.9	57.5	65.7	73.6	89.5	79.9	90.7	103	124	146	105	121	136	165	194	222	248	154	174	212	248	284
	2.6	45.7	53.7	61.4	68.8	83.7	74.9	85.1	96.4	117	137	99.4	114	128	155	183	209	233	146	164	200	234	268
	2.7	42.8	50.3	57.5	64.4	78.4	70.4	79.9	90.5	109	128	93.7	108	121	146	172	196	220	138	156	189	221	253
	2.8	40.2	47.2	54.0	60.4	73.5	66.2	75.1	85.1	103	121	88.4	101	114	138	162	185	207	131	147	179	209	240
	2.9	37.8	44.4	50.7	56.8	69.0	62.4	70.8	80.2	96.9	113	83.5	95.8	108	130	153	175	196	124	140	170	198	227
	3.0	35.5	41.8	47.7	53.4	65.0	58.8	66.7	75.6	91.3	107	78.9	90.6	102	123	145	165	185	117	132	161	188	215
	3.1	33.5	39.4	45.0	50.4	61.3	55.6	63.0	71.4	86.2	101	74.7	85.7	96.3	117	137	156	175	111	126	152	178	204
	3.2	31.7	37.2	42.5	47.6	57.8	52.6	59.6	67.5	81.5	95.5	70.8	81.2	91.2	110	130	148	165	106	119	145	169	193
	3.3	29.9	35.2	40.2	45.0	54.7	49.8	56.4	63.9	77.2	90.4	67.1	77.0	86.5	105	123	140	157	101	113	137	160	184
	3.4	28.3	33.3	38.0	42.6	51.8	47.2	53.5	60.6	73.1	85.6	63.7	73.1	82.1	99.3	117	133	149	95.7	108	131	153	175
	3.5	26.9	31.6	36.1	40.4	49.1	44.8	50.8	57.5	69.4	81.3	60.6	69.5	78.0	94.4	111	126	141	91.1	102	124	145	166
	3.6	25.5	30.0	34.2	38.3	46.6	42.6	48.2	54.7	66.0	77.2	57.7	66.1	74.3	89.8	105	120	134	86.8	97.7	119	138	158
	3.7	24.3	28.5	32.5	36.4	44.3	40.5	45.9	52.0	62.7	73.5	54.9	63.0	70.7	85.5	100	114	128	82.8	93.1	113	132	151
	3.8	23.1	27.1	31.0	34.7	42.1	38.6	43.7	49.5	59.8	70.0	52.4	60.0	67.4	81.5	95.6	109	122	79.0	88.9	108	126	144
	3.9	22.0	25.8	29.5	33.0	40.1	36.8	41.7	47.2	57.0	66.7	50.0	57.3	64.3	77.8	91.2	104	116	75.5	84.9	103	120	137
	4.0	21.0					35.1	39.8	45.1	54.4	63.6	47.7	54.7	61.5	74.3	87.1	99.4	111	72.2	81.2	98.5	115	131

① ② ③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L125				L140				L160				L180				L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积A (cm^2)																				
		19.75	24.37	28.91	33.37	27.37	32.51	37.57	42.54	31.5	37.44	43.3	49.07	42.24	48.9	55.47	61.95	54.64	62.01	69.30	76.5	90.66
x—∧—x	1.5	343	422	499	575	493	585	674	763	589	699	808	914	809	936	1061	1129	1066	1209	1287	1421	1681
	1.6	334	410	485	558	483	572	660	746	580	688	795	899	799	924	1047	1114	1055	1196	1273	1405	1663
	1.7	324	398	470	541	471	559	644	728	570	676	781	883	788	911	1033	1098	1043	1182	1259	1389	1643
	1.8	314	385	455	523	460	545	628	710	560	664	766	866	777	898	1017	1082	1031	1168	1244	1372	1623
	1.9	303	372	439	505	448	531	611	690	549	651	751	849	765	885	1002	1065	1018	1154	1228	1355	1602
	2.0	292	358	422	486	435	515	593	670	538	637	735	831	752	870	985	1047	1005	1139	1212	1337	1581
	2.1	281	344	405	466	422	500	575	649	526	623	718	812	740	855	968	1029	991	1123	1195	1318	1558
	2.2	269	330	388	447	408	483	556	627	514	608	701	792	726	840	950	1009	977	1107	1177	1298	1535
	2.3	258	316	372	427	394	467	536	605	501	593	683	771	712	823	932	989	962	1090	1159	1278	1510
	2.4	247	302	355	408	380	450	516	583	488	577	665	750	698	807	912	969	947	1072	1140	1257	1485
	2.5	236	288	338	389	366	433	497	560	474	561	646	728	683	789	892	947	931	1054	1120	1235	1459
	2.6	225	275	323	370	352	416	477	538	460	544	626	706	667	771	872	925	914	1035	1100	1213	1432
	2.7	214	262	307	353	338	399	458	516	446	527	607	684	651	753	851	902	897	1015	1079	1190	1404
	2.8	204	249	293	336	324	383	439	495	432	511	587	661	635	734	829	879	880	995	1057	1166	1375
	2.9	195	237	279	320	310	367	420	474	418	494	567	639	619	715	807	855	861	975	1035	1141	1346
	3.0	185	226	265	304	297	352	402	454	404	477	548	616	602	695	785	831	843	953	1013	1116	1315
	3.1	177	215	253	290	285	337	385	434	390	460	528	594	585	675	762	807	824	932	989	1090	1284
	3.2	168	205	241	276	273	322	369	415	376	443	509	573	568	656	740	783	805	910	966	1064	1253
	3.3	161	196	229	263	261	309	353	397	362	427	490	551	551	636	717	759	785	888	942	1037	1221
	3.4	153	187	219	251	250	295	338	380	349	412	472	531	534	616	695	735	766	865	918	1011	1190
	3.5	146	178	209	239	239	283	323	364	336	396	455	511	517	597	673	712	746	843	894	984	1158
	3.6	140	170	199	229	229	271	310	349	324	382	438	492	501	578	651	689	726	820	869	957	1126
	3.7	134	163	190	218	220	260	297	334	312	367	421	473	485	559	630	666	706	797	845	931	1094
	3.8	128	156	182	209	211	249	284	320	300	354	405	455	469	541	609	644	687	775	821	904	1062
	3.9	122	149	174	200	202	239	273	307	289	341	390	438	453	523	589	622	667	753	798	878	1031
	4.0	117	143	167	191	194	229	262	294	279	328	376	422	438	506	569	601	648	731	774	852	1001
	4.2	108	131	153	176	179	211	241	271	259	304	349	391	410	472	532	562	611	689	729	802	942
	4.4	99.3	121	141	162	165	195	223	251	240	283	324	363	383	442	497	525	575	648	686	755	885
	4.6	91.8	112	131	150	153	181	206	232	224	263	301	338	358	413	464	490	541	610	645	710	832
	4.8	85.1	103	121	139	142	168	192	216	208	245	281	315	335	387	435	459	509	574	607	668	782
	5.0	79.0	96.1	112	129	132	156	178	201	195	229	262	294	314	362	407	430	480	540	571	628	736
					②								①									

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$，按表 14-3 或表注公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_x = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_x = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_x = 250$ 时的界线。

2）Q235钢 一个热轧等边角钢轴心受压（绕 y 轴）稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-7*b*

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	L45			L50			L56			L63					L70					L75				
		4	5	6	4	5	6	4	5	8	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm^2)																							
		3.49	4.29	5.08	3.90	4.80	5.69	4.39	5.42	8.37	4.98	6.14	7.29	9.51	11.66	5.57	6.88	8.16	9.42	10.67	7.41	8.80	10.16	11.50	14.13
	1.00	56.3	71.3	85.7	62.4	81.6	98.7	68.0	91.8	151	73.0	101	128	175	217	76.2	109	140	169	196	114	148	180	210	268
	1.05	55.3	69.9	84.1	61.8	80.4	97.2	67.5	91.1	149	72.6	101	127	173	215	75.8	109	139	168	195	113	147	179	209	266
	1.10	54.2	68.5	82.3	61.2	79.1	95.7	66.9	90.4	147	72.1	100	126	171	213	75.5	108	139	167	195	113	147	178	208	264
	1.15	53.1	67.0	80.6	60.5	77.8	94.1	66.4	89.6	145	71.7	99.4	125	170	210	75.1	108	138	166	193	112	146	178	207	262
	1.20	51.9	65.5	78.7	59.8	76.4	92.4	65.8	88.8	143	71.2	98.8	124	168	208	74.7	107	137	165	191	112	145	177	207	260
	1.25	50.7	63.9	76.8	58.7	75.0	90.6	65.2	87.5	141	70.7	98.1	123	166	206	74.3	107	136	164	190	111	145	176	206	258
	1.30	49.4	62.3	74.8	57.6	73.5	88.8	64.6	86.2	139	70.2	97.4	122	164	203	73.9	106	136	163	188	111	144	175	204	256
	1.35	48.2	60.7	72.9	56.4	72.0	87.0	63.9	84.9	137	69.7	96.6	121	162	201	73.4	105	135	162	186	110	143	174	202	254
	1.40	46.9	59.0	70.8	55.2	70.4	85.1	63.2	83.5	134	69.1	95.8	119	160	198	73.0	105	134	160	184	110	142	173	201	251
	1.45	45.6	57.4	68.8	54.0	68.8	83.1	62.5	82.1	132	68.5	94.9	117	157	195	72.5	104	133	158	182	109	142	172	199	249
	1.50	44.3	55.7	66.7	52.8	67.2	81.2	61.9	80.6	129	67.9	94.4	116	155	192	72.0	103	132	157	180	108	141	171	197	247
	1.60	41.7	52.3	62.7	50.3	63.9	77.1	59.7	77.6	124	66.7	91.7	112	151	186	71.0	102	129	153	176	107	139	168	193	242
	1.70	39.2	49.1	58.7	47.8	60.6	73.1	57.3	74.4	119	65.3	88.8	109	146	180	69.9	99.9	126	149	172	106	137	164	189	236
	1.80	36.8	45.9	54.9	45.3	57.3	69.1	54.9	71.2	113	63.9	85.9	105	140	173	68.8	98.2	123	145	167	104	135	160	184	231
	1.90	34.5	42.9	51.2	42.9	54.1	65.1	52.5	68.0	108	62.8	82.8	101	135	167	67.6	96.5	119	141	162	102	132	156	180	225
	2.00	32.3	40.1	47.8	40.5	51.0	61.3	50.1	64.8	102	60.6	79.7	97.4	130	160	66.3	93.7	116	137	157	101	128	152	175	218
	2.10	30.3	37.5	44.7	38.3	48.1	57.7	47.8	61.6	97.0	58.3	76.6	93.5	124	153	65.0	90.7	112	132	152	100	125	148	170	212
	2.20	28.4	35.1	41.7	36.1	45.3	54.3	45.5	58.6	91.9	56.1	73.5	89.5	119	146	63.7	87.7	108	127	146	96.7	121	143	165	205
	2.30	26.6	32.8	39.0	34.1	42.6	51.1	43.3	55.6	86.9	53.9	70.4	85.7	113	139	63.3	84.7	104	123	141	93.9	117	139	159	199
	2.40	24.9	30.7	36.5	32.2	40.2	48.0	41.2	52.8	82.2	51.7	67.4	81.9	108	133	61.2	81.7	100	118	136	91.0	113	134	154	192
	2.50	23.4	28.8	34.2	30.4	37.9	45.2	39.2	50.1	77.7	49.5	64.4	78.2	103	126	59.1	78.8	96.7	114	130	88.1	110	130	149	185
	2.60	22.0	27.1	32.1	28.7	35.7	42.6	37.2	47.5	73.5	47.5	61.6	74.6	98.2	120	57.1	75.8	92.9	109	125	85.1	106	125	143	178
	2.70	20.8	25.5	30.1	27.1	33.7	40.2	35.4	45.1	69.5	45.5	58.9	71.2	93.5	114	55.0	72.9	89.2	105	120	82.3	102	121	138	171
	2.80	19.6	24.0	28.4	25.7	31.8	37.9	33.7	42.8	65.8	43.5	56.2	67.9	89.0	109	53.1	70.1	85.6	100	115	79.4	99	116	133	165
	2.90	18.5	22.6	26.7	24.3	30.1	35.8	32.1	40.7	62.3	41.7	53.7	64.8	84.7	103	51.1	67.4	82.2	96.1	110	76.6	94.9	112	128	158
	3.00	17.4	21.3	25.2	23.1	28.5	33.9	30.5	38.6	59.1	39.9	51.3	61.8	80.7	98.3	49.2	64.7	78.8	92.1	105	73.9	91.4	107	123	152
	3.10	16.5	20.2	23.8	21.9	27.0	32.1	29.1	36.7	56.1	38.2	49.0	59.0	76.9	93.5	47.4	62.2	75.6	88.2	101	71.2	88.0	103	118	146
	3.20	15.6	19.1	22.5	20.8	25.6	30.4	27.7	35.0	53.2	36.6	46.9	56.3	73.3	89.1	45.7	59.7	72.5	84.5	96.5	68.7	84.7	99.3	113	140
	3.30	14.8	18.1	21.3	19.8	24.3	28.9	26.4	33.3	50.6	35.1	44.8	53.8	69.9	84.9	44.0	57.4	69.5	81.0	92.4	66.2	81.5	95.5	109	134
	3.40	14.1	17.2	20.2	18.8	23.1	27.4	25.2	31.7	48.1	33.6	42.9	51.4	66.7	80.9	42.4	55.1	66.7	77.6	88.5	63.8	78.4	91.8	104	129
	3.50	13.4	16.3	19.2	17.9	22.0	26.1	24.1	30.3	45.8	32.2	41.0	49.1	63.7	77.2	40.8	52.9	64.0	74.4	84.8	61.4	75.4	88.2	100	124
	3.60	12.7	15.5	18.3	17.1	21.0	24.8	23.0	28.9	43.7	30.9	39.3	47.0	60.8	73.7	39.3	50.9	61.4	71.3	81.3	59.2	72.6	84.8	96.4	119
	3.70	12.1	14.8	17.4	16.3	20.0	23.7	22.0	27.6	41.7	29.7	37.7	45.0	58.2	70.4	37.9	48.9	59.0	68.4	77.9	57.1	69.9	81.5	92.6	114
	3.80	11.6	14.1	16.6	15.6	19.1	22.6	21.1	26.4	39.8	28.5	36.1	43.1	55.7	67.4	36.5	47.0	56.6	65.7	74.7	55.0	67.3	78.4	89.0	109
	3.90	11.0	13.4	15.8	14.9	18.2	21.5	20.2	25.3	38.0	27.4	34.6	41.3	53.3	64.5	35.2	45.3	54.4	63.1	71.7	53.1	64.8	75.5	85.6	105
	4.00	10.6	12.8	15.1	14.2	17.4	20.6	19.4	24.2	36.4	26.3	33.2	39.6	51.1	61.7	33.9	43.6	52.3	60.6	68.9	51.2	62.4	72.6	82.3	101
	4.20	9.66	11.7	13.8	13.1	16.0	18.9	17.8	22.2	33.3	24.3	30.7	36.5	47.0	56.7	31.6	40.4	48.4	56.0	63.6	47.6	57.9	67.3	76.2	93.4
	4.40				12.0	14.7	17.3	16.5	20.5	30.7	22.6	28.4	33.7	43.3	52.3	29.4	37.5	44.9	51.9	58.9	44.4	53.9	62.6	70.8	86.5
	4.60				11.1	13.5	16.0	15.2	19.0	28.3	21.0	26.3	31.2	40.1	48.3	27.5	34.9	41.7	48.2	54.6	41.5	50.2	58.2	65.8	80.3
	4.80				10.3	12.5		14.1	17.6	26.2	19.5	24.5	29.0	37.2	44.8	25.7	32.6	38.9	44.8	50.8	38.8	46.9	54.3	61.3	74.7
	5.00							13.2	16.3	24.3	18.2	22.8	27.0	34.5	41.6	24.0	30.4	36.3	41.7	47.3	36.3	43.8	50.7	57.2	69.7

③ ② ①

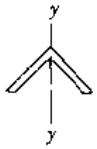
续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	L80					L90					L100							L110				
		5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
		面积 A (cm^2)																					
		7.91	9.4	10.86	12.30	15.13	10.64	12.3	13.94	17.17	20.31	11.93	13.8	15.64	19.26	22.8	26.26	29.63	15.2	17.24	21.26	25.20	29.06
	1.50	112	148	181	213	268	160	200	238	309	371	169	216	260	343	421	490	557	226	277	372	461	546
	1.60	111	146	179	209	263	159	198	236	305	366	168	214	258	341	416	484	550	225	276	370	459	543
	1.70	110	145	178	205	258	157	196	234	300	360	167	213	257	339	411	479	544	224	274	368	456	536
	1.80	108	143	174	201	253	156	195	231	296	355	165	211	255	336	406	473	536	222	272	366	453	531
	1.90	107	141	171	197	247	154	193	229	291	349	164	209	253	332	401	466	529	221	271	364	449	525
	2.00	105	139	167	192	241	152	190	225	286	342	162	208	250	327	395	459	521	219	269	361	444	519
	2.10	104	136	163	188	235	150	188	221	280	336	161	206	248	322	389	452	513	218	267	358	439	513
	2.20	102	132	158	183	229	149	186	217	275	329	159	204	245	317	383	445	504	216	264	355	433	506
	2.30	100	129	154	178	222	147	182	212	269	322	158	201	243	312	376	437	496	214	262	352	427	499
	2.40	100	125	150	173	216	144	178	207	263	314	156	199	240	307	370	429	486	212	260	347	421	492
	2.50	97.0	122	145	167	209	144	174	202	256	306	154	197	235	301	363	421	477	210	257	342	415	484
	2.60	94.2	118	141	162	202	140	170	198	250	299	152	194	231	295	355	412	467	208	255	336	408	476
	2.70	91.4	114	136	157	195	137	166	192	244	291	150	192	226	289	348	403	457	206	252	331	402	468
	2.80	88.6	111	132	152	189	134	161	187	237	282	149	188	221	283	340	394	446	204	249	325	395	460
	2.90	85.9	107	127	146	182	130	157	182	230	274	146	184	217	276	332	385	436	201	247	319	387	451
	3.00	83.1	103	123	141	175	127	153	177	223	266	144	180	212	270	324	376	425	199	242	313	380	443
	3.10	80.5	100	119	136	169	123	148	172	217	258	144	176	207	263	316	366	414	196	237	307	372	434
	3.20	77.8	96.5	115	131	163	120	144	167	210	250	141	172	202	257	308	356	403	194	233	301	365	424
	3.30	75.3	93.2	110	126	156	116	140	162	204	242	138	168	197	250	300	347	392	193	228	295	357	415
	3.40	72.8	89.9	106	122	151	113	136	157	197	234	135	164	192	243	292	337	381	189	223	288	349	406
	3.50	70.3	86.8	103	117	145	110	131	152	191	226	131	159	187	237	284	328	370	185	218	282	341	396
	3.60	68.0	83.7	99.0	113	139	106	127	147	184	219	128	155	182	230	276	318	359	181	214	275	333	387
	3.70	65.7	80.8	95.4	109	134	103	123	142	178	211	125	151	177	224	268	309	348	177	209	269	325	377
	3.80	63.5	78.0	92.0	105	129	100	120	138	173	204	122	147	172	217	260	300	338	173	204	262	317	368
	3.90	61.4	75.2	88.7	101	124	97.0	116	133	167	197	119	143	167	211	252	291	327	169	199	256	309	358
	4.00	59.4	72.6	85.5	97.4	120	94.1	112	129	161	190	116	139	162	205	245	282	317	165	194	249	301	349
	4.20	55.5	67.7	79.6	90.6	111	88.5	105	121	151	178	110	132	153	193	230	265	298	158	185	237	286	330
	4.40	51.9	63.2	74.2	84.3	103	83.2	98.8	113	141	166	104	125	145	182	217	249	279	150	176	225	271	313
	4.60	48.7	59.1	69.2	78.6	96.0	78.3	92.8	106	132	155	98.5	118	137	171	204	234	262	143	167	213	256	296
	4.80	45.6	55.3	64.7	73.4	89.5	73.7	87.2	100	124	145	93.3	111	129	161	192	220	246	136	159	202	242	280
	5.00	42.9	51.8	60.6	68.6	83.6	69.4	82.0	93.6	116	136	88.5	105	122	152	180	206	231	130	151	191	229	264
	5.20	40.3	48.6	56.8	64.2	78.2	65.5	77.2	88.0	109	128	83.9	100	115	143	170	194	218	123	143	181	217	250
	5.40	37.9	45.7	53.3	60.3	73.3	61.8	72.7	82.9	102	120	79.6	94.4	109	135	160	183	205	117	136	172	206	236
	5.60	35.8	43.0	50.1	56.6	68.8	58.4	68.6	78.1	96.4	113	75.5	89.4	103	128	151	173	193	112	129	163	195	224
	5.80	33.8	40.5	47.2	53.3	64.7	55.2	64.8	73.7	90.9	106	71.7	84.8	97.5	121	143	163	182	106	123	155	185	212
	6.00	31.9	38.3	44.5	50.2	60.9	52.3	61.3	69.7	85.8	100	68.2	80.4	92.5	114	135	154	172	101	117	147	175	201

①

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	L125				L140				L160				L180				L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积 A (cm^2)																				
		19.75	24.37	28.91	33.37	27.37	32.51	37.57	42.54	31.5	37.44	43.3	49.07	42.24	48.9	55.47	61.95	54.64	62.01	69.30	76.5	90.66
	2.00	291	403	507	605	434	557	673	783	466	614	754	887	656	821	977	1075	877	1058	1174	1333	1639
	2.10	289	400	504	599	432	555	670	779	464	612	752	884	654	819	975	1072	875	1056	1172	1331	1636
	2.20	287	398	501	594	430	552	666	776	463	610	749	881	653	817	972	1069	873	1053	1169	1328	1632
	2.30	285	395	497	588	428	549	663	769	461	608	746	878	651	814	970	1066	871	1051	1167	1325	1629
	2.40	284	393	494	581	426	546	660	763	459	606	744	875	649	812	967	1063	869	1049	1164	1322	1625
	2.50	282	390	489	575	424	543	656	756	457	603	741	871	647	809	964	1060	867	1046	1161	1319	1621
	2.60	279	387	483	568	421	540	652	749	455	601	737	867	644	807	961	1056	864	1043	1158	1315	1616
	2.70	277	384	477	561	419	537	646	742	453	598	734	863	642	804	957	1053	862	1041	1155	1312	1612
	2.80	275	381	471	554	416	533	640	735	451	595	731	859	640	801	954	1049	859	1038	1152	1308	1607
	2.90	273	379	465	546	413	530	633	727	449	592	727	855	637	798	950	1045	857	1035	1148	1304	1602
	3.00	270	374	458	538	410	526	626	719	447	589	723	850	635	795	947	1041	854	1031	1145	1300	1597
	3.10	268	368	452	530	407	522	619	711	444	586	719	843	632	792	943	1036	851	1028	1141	1296	1587
	3.20	265	363	445	522	404	516	612	702	442	583	715	835	630	788	939	1032	849	1025	1137	1291	1578
	3.30	262	357	437	513	401	510	604	693	439	579	711	828	627	785	935	1027	846	1021	1133	1287	1569
	3.40	260	351	430	504	398	504	596	684	437	576	708	820	624	781	930	1021	842	1017	1129	1282	1560
	3.50	257	345	423	496	394	497	588	675	434	572	701	812	621	777	926	1013	839	1013	1125	1277	1551
	3.60	254	339	415	487	391	490	580	666	431	568	694	804	618	774	921	1005	836	1010	1121	1272	1541
	3.70	253	333	408	477	389	483	572	656	428	564	687	795	615	769	916	997	833	1005	1116	1267	1531
	3.80	249	327	400	468	384	476	563	646	425	560	680	787	611	765	912	989	829	1001	1111	1259	1521
	3.90	244	321	392	459	378	469	555	636	422	556	672	778	608	761	905	981	825	997	1106	1251	1510
	4.00	240	314	384	449	373	462	546	626	419	556	664	769	604	757	897	972	822	992	1101	1242	1500
	4.20	231	302	368	431	361	447	528	605	413	543	648	750	597	747	880	954	814	983	1091	1224	1477
	4.40	221	289	353	412	349	432	510	583	406	529	632	730	590	741	863	935	806	973	1074	1205	1454
	4.60	213	277	337	393	337	416	491	562	399	515	615	710	582	726	845	915	797	962	1057	1185	1429
	4.80	204	265	322	375	325	401	473	541	398	501	597	690	573	710	827	895	788	953	1039	1165	1404
	5.00	195	253	307	358	313	386	455	519	387	486	579	669	573	694	808	874	779	936	1020	1143	1377
	5.20	187	242	293	341	302	371	437	498	376	472	561	648	560	677	788	852	769	918	1000	1121	1350
	5.40	179	231	280	325	290	356	419	478	365	457	544	627	547	661	768	830	765	900	980	1098	1321
	5.60	171	220	267	309	279	342	402	458	354	442	526	606	533	643	748	808	750	881	959	1074	1293
	5.80	164	210	254	295	268	328	385	438	343	428	508	585	519	626	727	785	734	862	938	1050	1263
	6.00	157	201	242	281	257	315	369	420	332	414	490	564	505	609	707	763	718	843	916	1026	1233
	6.20	150	192	231	267	247	302	354	402	321	400	473	544	492	592	686	740	701	823	894	1001	1203
	6.40	144	183	221	255	238	290	339	385	311	386	457	525	478	575	666	718	685	803	872	976	1172
	6.60	138	175	211	243	228	278	325	368	300	373	440	506	464	558	646	696	668	783	850	951	1141
	6.80	132	168	201	232	219	266	311	353	290	360	425	487	451	541	626	674	652	763	828	926	1110
	7.00	127	160	192	222	211	256	298	338	281	347	409	469	438	525	606	652	635	743	806	901	1080



注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y}$，公式（3-50）求出 λ_{yz}，再按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

3）Q235 钢　一个热轧等边角钢轴心受压（绕 u 轴）稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-7c

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L45			L50			L56			L63					L70					L75				
		4	5	6	4	5	6	4	5	8	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm^2)																							
		3.49	4.29	5.08	3.90	4.80	5.69	4.39	5.42	8.37	4.98	6.14	7.29	9.51	11.66	5.57	6.88	8.16	9.42	10.67	7.41	8.80	10.16	11.50	14.13
	0.75	60.4	75.1	89.3	64.2	86.2	102.8	67.6	93.8	156	70.1	101	129	181	223	70.8	106	139	170	199	109	145	179	211	272
	0.80	59.0	73.4	87.3	64.2	84.7	100.9	67.6	93.8	154	70.1	101	129	179	220	70.8	106	139	170	199	109	145	179	211	272
	0.85	57.6	71.6	85.2	64.2	83.1	99.0	67.6	93.8	151	70.1	101	129	176	217	70.8	106	139	170	199	109	145	179	211	271
	0.90	56.2	69.8	83.0	64.2	81.4	96.9	67.6	93.8	149	70.1	101	129	174	214	70.8	106	139	170	199	109	145	179	211	268
	0.95	54.6	67.8	80.6	63.8	79.7	94.8	67.6	93.3	146	70.1	101	129	172	211	70.8	106	139	170	197	109	145	179	211	266
	1.00	53.0	65.8	78.2	62.3	77.8	92.5	67.6	91.6	144	70.1	101	129	169	208	70.8	106	139	170	195	109	145	179	211	263
	1.10	49.7	61.6	73.1	59.2	73.9	87.7	67.6	88.1	138	70.1	101	125	164	202	70.8	106	139	167	190	109	145	179	208	258
	1.15	47.9	59.4	70.5	57.6	71.8	85.2	68.4	86.2	135	70.1	101	123	161	198	70.8	106	139	165	188	109	145	179	206	255
	1.20	46.2	57.2	67.9	55.9	69.7	82.6	66.9	84.2	131	70.1	100	121	158	195	70.8	106	139	163	185	109	145	179	203	251
	1.25	44.5	55.0	65.2	54.2	67.6	80.0	65.3	82.2	128	70.1	98.4	118	155	191	70.8	106	137	160	182	109	145	176	201	248
	1.30	42.7	52.9	62.6	52.5	65.4	77.4	63.7	80.2	125	70.1	96.5	116	152	187	70.8	106	135	158	180	109	145	174	198	245
	1.35	41.0	50.7	60.0	50.8	63.2	74.7	62.0	78.1	121	70.1	94.5	114	149	183	70.8	106	133	155	177	109	145	172	195	241
	1.40	39.4	48.6	57.5	49.0	61.1	72.1	60.4	75.9	118	70.1	92.5	111	146	179	70.8	106	131	153	174	109	145	169	192	238
	1.45	37.8	46.6	55.1	47.3	58.9	69.5	58.7	73.8	114	71.8	90.5	109	143	175	70.8	107	129	150	171	109	143	167	190	234
	1.50	36.2	44.7	52.7	45.7	56.8	66.9	57.0	71.6	111	70.2	88.4	106	139	170	70.8	105	126	147	168	109	141	164	187	230
	1.60	33.2	40.9	48.3	42.4	52.6	61.9	53.6	67.3	104	66.9	84.2	101	132	162	70.8	101	122	141	161	109	136	159	180	223
	1.70	30.5	37.6	44.3	39.3	48.7	57.3	50.3	63.0	96.9	63.6	79.9	95.9	125	153	70.8	96.6	116	136	154	108	131	153	174	214
	1.80	28.1	34.5	40.6	36.4	45.1	52.9	47.1	58.9	90.4	60.2	75.6	90.7	118	144	72.7	92.4	111	129	147	104	126	147	167	206
	1.90	25.8	31.7	37.3	33.8	41.8	48.9	44.1	55.1	84.2	57.0	71.4	85.5	111	136	69.4	88.1	106	123	140	99.9	121	141	160	197
	2.00	23.8	29.2	34.3	31.3	38.7	45.3	41.2	51.4	78.4	53.8	67.3	80.6	105	127	66.2	83.9	101	117	133	95.7	116	135	153	188
	2.10	22.0	27.0	31.7	29.1	35.9	42.0	38.5	48.0	73.1	50.8	63.4	75.9	98.3	120	63.0	79.7	95.8	111	126	91.5	111	129	146	179
	2.20	20.4	24.9	29.3	27.1	33.4	38.9	36.1	44.9	68.1	47.9	59.7	71.4	92.3	112	59.9	75.7	90.9	105	120	87.4	106	123	139	171
	2.30	18.9	23.1	27.1	25.2	31.0	36.2	33.8	42.0	63.6	45.2	56.2	67.1	86.7	105	56.9	71.8	86.1	99.9	113	83.3	101	117	132	162
	2.40	17.6	21.5	25.2	23.5	28.9	33.7	31.6	39.3	59.4	42.6	53.0	63.2	81.5	98.8	54.1	68.0	81.5	94.5	107	79.3	95.7	111	126	154
	2.50	16.4	20.0	23.5	22.0	27.0	31.5	29.7	36.8	55.6	40.2	49.9	59.5	76.6	92.9	51.3	64.5	77.2	89.4	101	75.5	91.0	106	119	146
	2.60	15.3	18.7	21.9	20.6	25.3	29.4	27.9	34.6	52.1	38.0	47.0	56.0	72.1	87.3	48.7	61.1	73.1	84.6	95.8	71.9	86.5	100	113	139
	2.70	14.3	17.5	20.5	19.3	23.7	27.5	26.2	32.5	48.8	35.9	44.4	52.8	67.9	82.2	46.3	57.9	69.2	80.1	90.6	68.4	82.2	95.4	107	131
	2.80	13.4	16.3	19.2	18.1	22.2	25.8	24.7	30.6	45.9	33.9	41.9	49.8	64.0	77.4	44.0	54.9	65.6	75.8	85.8	65.1	78.2	90.7	102	125
	2.90	12.6	15.3	18.0	17.0	20.9	24.3	23.3	28.8	43.2	32.1	39.6	47.1	60.4	73.0	41.8	52.1	62.2	71.9	81.2	61.9	74.3	86.2	96.9	118
	3.00	11.8	14.4	16.9	16.1	19.7	22.8	22.0	27.2	40.7	30.4	37.5	44.5	57.1	69.0	39.7	49.5	59.0	68.2	77.0	59.0	70.7	81.9	92.0	112
	3.10	11.2	13.6	15.9	15.1	18.5	21.5	20.8	25.7	38.4	28.9	35.5	42.1	54.0	65.2	37.8	47.0	56.0	64.7	73.0	56.2	67.3	77.9	87.5	107
	3.20	10.5	12.8	15.0	14.3	17.5	20.3	19.7	24.3	36.3	27.4	33.7	39.9	51.1	61.8	36.0	44.7	53.2	61.4	69.4	53.5	64.1	74.2	83.2	102
	3.30	9.95	12.1	14.2	13.5	16.6	19.2	18.7	23.0	34.4	26.0	32.0	37.9	48.5	58.5	34.3	42.6	50.6	58.4	65.9	51.1	61.1	70.6	79.2	96.6
	3.40	9.42	11.5	13.4	12.8	15.7	18.2	17.7	21.8	32.6	24.8	30.4	36.0	46.0	55.5	32.7	40.5	48.2	55.6	62.7	48.7	58.2	67.3	75.5	92.0
	3.50				12.2	14.9	17.3	16.8	20.7	30.9	23.6	28.9	34.2	43.7	52.8	31.2	38.6	45.9	52.9	59.7	46.5	55.6	64.2	72.0	87.7 ①
	3.60				11.6	14.1	16.4	16.0	19.7	29.4	22.5	27.5	32.6	41.6	50.2	29.8	36.9	43.8	50.4	56.9	44.5	53.1	61.3	68.7	83.6
	3.70				11.0	13.4	15.6	15.2	18.7	27.9	21.4	26.2	31.0	39.6	47.8	28.5	35.2	41.8	48.1	54.2	42.5	50.7	58.5	65.6	79.8
	3.80				10.5	12.8		14.5	17.9	26.6	20.4	25.0	29.6	37.8	45.5	27.2	33.6	39.9	45.9	51.8	40.7	48.5	56.0	62.7	76.2
	3.90							13.9	17.0	25.4	19.5	23.9	28.3	36.0	43.5	26.1	32.2	38.2	43.9	49.5	39.0	46.4	53.5	59.9	72.9
	4.00						③	13.2	16.3	24.2	18.7	22.8	27.0	34.4	41.5 ②	25.0	30.8	36.5	42.0	47.3	37.3	44.5	51.3	57.4	69.7

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L80					L90					L100							L110				
		5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
		面积A (cm²)																					
		7.91	9.4	10.86	12.30	15.13	10.64	12.3	13.94	17.17	20.31	11.93	13.8	15.64	19.26	22.8	26.26	29.63	15.2	17.24	21.26	25.20	29.06
	1.00	110	149	186	221	285	156	199	241	318	391	159	210	257	347	431	511	580	214	269	370	465	555
	1.10	110	149	186	221	280	156	199	241	318	385	159	210	257	347	431	506	573	214	269	370	465	555
	1.15	110	149	186	221	277	156	199	241	318	381	159	210	257	347	431	503	569	214	269	370	465	555
	1.20	110	149	186	221	274	156	199	241	318	378	159	210	257	347	431	499	565	214	269	370	465	555
	1.25	110	149	186	218	271	156	199	241	315	375	159	210	257	347	429	496	561	214	269	370	465	555
	1.30	110	149	186	216	268	156	199	241	313	372	159	210	257	347	426	492	556	214	269	370	465	553
	1.35	110	149	187	213	264	156	199	241	310	368	159	210	257	347	422	488	552	214	269	370	465	549
	1.40	110	149	185	211	261	156	199	241	307	364	159	210	257	347	419	484	547	214	269	370	465	546
	1.45	110	149	182	208	258	156	199	241	304	361	159	210	257	348	416	480	543	214	269	370	465	542
	1.50	110	149	180	205	254	156	199	241	300	357	159	210	257	346	412	476	538	214	269	370	464	538
	1.60	110	149	175	199	247	156	199	236	294	349	159	210	257	339	405	467	528	214	269	370	458	530
	1.70	110	145	169	193	239	156	201	230	287	340	159	210	257	333	397	458	518	214	269	370	451	522
	1.80	110	140	164	186	231	156	196	224	279	331	159	210	257	326	389	449	507	214	269	371	443	513
	1.90	111	135	158	180	222	156	191	218	272	322	159	210	256	319	380	439	495	214	269	364	435	504
	2.00	107	130	152	173	213	158	185	212	263	312	159	210	250	312	371	428	483	214	269	358	427	494
	2.10	103	125	146	166	205	153	180	205	255	302	159	212	244	304	362	417	470	214	269	351	419	484
	2.20	98.6	120	140	159	196	148	174	198	247	291	159	207	237	296	352	406	457	214	273	343	410	473
	2.30	94.5	115	134	152	187	143	168	191	238	281	159	201	231	288	342	394	444	214	267	336	400	463
	2.40	90.4	110	128	145	179	138	162	184	229	270	159	195	224	279	332	382	430	214	261	328	391	451
	2.50	86.5	105	122	138	170	133	156	178	220	260	160	189	217	270	322	369	416	214	254	319	381	440
u—L—u	2.60	82.6	100	117	132	162	128	150	171	212	249	155	183	210	262	311	357	402	215	248	311	371	428
	2.70	78.9	95.4	111	126	154	123	144	164	203	239	150	177	204	253	300	345	388	209	241	303	360	416
	2.80	75.4	91.0	106	120	147	118	138	157	195	229	145	171	197	244	290	332	374	203	234	294	350	403
	2.90	72.0	86.8	101	114	140	113	133	151	187	219	140	166	190	235	279	320	360	197	228	285	339	391
	3.00	68.7	82.8	96.3	109	133	109	127	145	179	210	135	160	183	227	269	308	346	191	221	277	329	379
	3.10	65.6	79.0	91.8	103	127	104	122	139	171	201	131	154	176	219	259	296	333	186	214	268	318	366
	3.20	62.7	75.4	87.6	98.7	121	100	117	133	164	192	126	148	170	210	249	285	320	180	207	259	308	354
	3.30	59.9	72.0	83.6	94.1	115	96.1	112	127	157	184	122	143	164	202	240	274	307	174	201	251	298	342
	3.40	57.3	68.8	79.8	89.8	110	92.2	108	122	150	176	117	138	158	195	230	263	295	169	194	243	288	331
	3.50	54.8	65.8	76.3	85.8	105	88.5	103	117	144	168	113	133	152	187	222	253	284	163	188	235	278	319
	3.60	52.5	62.9	72.9	82.0	100	85.0	99.1	112	138	161	109	128	146	180	213	243	273	158	181	227	268	308
	3.70	50.3	60.2	69.7	78.4	95.8	81.6	95.1	108	132	155	105	123	141	173	205	234	262	153	175	219	259	297
	3.80	48.2	57.7	66.8	75.0	91.6	78.4	91.3	103	127	148	101	119	135	167	197	225	252	148	170	211	250	287
	3.90	46.2	55.3	63.9	71.8	87.7	75.3	87.7	99.0	122	142	97.6	114	130	161	190	216	242	143	164	204	241	277
	4.00	44.3	53.0	61.3	68.8	84.0	72.4	84.3	95.1	117	136	94.1	110	126	155	182	208	233	138	158	197	233	267
	4.20	40.9	48.8	56.4	63.3	77.2	67.1	77.9	87.9	108	126	87.6	102	117	143	169	192	215	129	148	184	217	248
	4.40	37.8	45.1	52.1	58.4	71.2	62.2	72.2	81.4	99.8	116	81.8	95.3	109	133	157	178	200	121	138	172	202	231
	4.60	35.0	41.8	48.2	54.0	65.8	57.8	67.0	75.5	92.5	108	76.2	88.9	101	124	146	166	185	113	129	160	189	216
	4.80	32.5	38.8	44.7	50.1	61.0	53.8	62.4	70.2	86.0	100	71.2	83.0	94.3	115	136	154	173	106	121	150	177	202
	5.00	30.3	36.1	41.6	46.6	56.6	50.2	58.1	65.4	80.1	93	66.6	77.6	88.1	108	127	144	161	99	114	141	165	189

② ①

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ou} (m)	L125				L140				L160				L180				L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积A (cm^2)																				
		19.75	24.37	28.91	33.37	27.37	32.51	37.57	42.54	31.5	37.44	43.3	49.07	42.24	48.9	55.47	61.95	54.64	62.01	69.30	76.5	90.66
	1.50	280	401	514	620	421	553	677	794	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	1.60	280	401	514	620	421	553	677	794	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	1.70	280	401	514	616	421	553	677	794	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	1.80	280	401	514	608	421	553	677	795	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	1.90	280	401	516	600	421	553	677	786	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.00	280	401	509	591	421	553	677	778	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.10	280	401	501	582	421	553	675	768	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.20	280	401	494	573	421	553	666	759	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.30	280	404	485	563	421	553	658	749	437	595	743	884	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.40	280	397	477	553	421	556	648	738	437	595	743	881	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.50	280	389	468	543	421	548	639	728	437	595	743	871	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1632
	2.60	280	382	459	532	421	540	629	716	437	595	743	862	619	793	958	1064	830	1021	1147	1314	1626
	2.70	280	374	449	521	421	532	619	705	437	595	746	851	619	793	958	1061	830	1021	1147	1314	1614
	2.80	280	366	439	509	421	523	609	693	437	595	737	841	619	793	958	1051	830	1021	1147	1314	1602
	2.90	283	358	429	497	426	514	598	681	437	595	727	830	619	793	958	1040	830	1021	1147	1314	1590
	3.00	277	349	419	486	418	504	587	668	437	595	717	819	619	793	961	1030	830	1021	1147	1321	1577
	3.10	270	341	409	473	410	495	576	655	437	604	707	807	619	793	951	1018	830	1021	1147	1310	1563
	3.20	263	332	399	461	402	485	564	642	437	595	697	795	619	793	940	1007	830	1021	1147	1299	1550
	3.30	257	324	388	449	394	475	553	628	437	586	686	783	619	793	929	995	830	1021	1147	1287	1536
	3.40	250	315	378	437	386	465	541	615	437	577	675	770	619	801	918	983	830	1021	1149	1275	1521
	3.50	243	306	367	424	377	455	529	601	437	568	664	757	619	791	906	971	830	1021	1138	1263	1506
	3.60	237	298	357	412	369	444	516	587	437	558	653	744	619	781	895	958	830	1021	1127	1250	1491
	3.70	230	289	347	400	361	434	504	573	437	549	642	731	619	771	882	945	830	1021	1115	1238	1476
	3.80	224	281	336	388	352	424	492	559	443	539	630	718	619	760	870	932	830	1027	1103	1224	1460
	3.90	217	273	327	377	344	413	480	545	435	529	618	704	619	760	870	932	830	1016	1091	1211	1443
	4.00	211	265	317	365	335	403	468	531	426	519	606	690	619	749	858	918	830	1004	1079	1197	1426
	4.20	199	249	298	343	319	383	444	504	410	498	582	662	626	738	845	904	830	993	1066	1183	1409
	4.40	188	235	280	322	303	363	421	477	393	478	558	634	607	715	819	876	841	968	1040	1153	1374
	4.60	177	221	263	303	287	344	398	451	377	458	534	607	588	692	792	847	820	943	1013	1123	1337
	4.80	167	208	248	285	272	326	377	427	361	438	510	579	568	668	764	817	798	918	985	1092	1299
	5.00	157	196	233	268	258	309	357	404	345	418	487	553	548	645	737	787	775	891	956	1060	1260
	5.20	148	185	220	252	245	292	337	382	330	399	465	527	528	621	709	758	752	864	927	1027	1221
	5.40	140	174	207	237	232	277	319	361	315	381	443	502	508	597	682	728	728	837	898	994	1181
	5.60	133	164	195	224	220	262	302	342	301	364	422	479	489	574	655	699	705	810	868	961	1141
	5.80	125	155	184	211	209	249	287	324	287	347	403	456	470	551	629	670	681	782	838	928	1101
	6.00	119	147	174	200	198	236	272	307	275	331	384	435	451	529	603	643	658	755	809	895	1061
					①									433	507	578	616	635	729	780	863	1022

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_u = \frac{l_{ou}}{i_u}$，按公式（3-54）求出 λ_{ou}，再按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_u = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_u = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_u = 250$ 时的界线。

4）Q235钢　两个热轧等边角钢（十字形相连）轴心受压（绕 x 轴）稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-8

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L45×			2L50×			2L56×			2L63×					2L70×					2L75×				
		4	5	6	4	5	6	4	5	8	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm²)																							
		3.49	4.29	5.08	3.90	4.80	5.69	4.39	5.42	8.37	4.98	6.14	7.29	9.51	11.66	5.57	6.88	8.16	9.42	10.67	7.41	8.80	10.16	11.50	14.13
	1.0	123.1	150.7	178.1	142.4	174.8	206.8	165.1	203.6	312	191.9	236	280	364	446	218.5	270	320	368	417	293	348	402	454	557
	1.1	118.5	145.0	171.2	138.2	169.5	200.6	161.3	198.8	305	188.3	232	275	357	437	215.1	266	315	363	410	289	343	396	448	549
	1.2	113.6	138.8	163.8	133.7	163.9	193.8	157.2	193.7	296	184.5	227	269	350	427	211.6	261	309	356	403	285	338	390	441	541
	1.3	108.3	132.1	155.8	128.9	157.8	186.5	152.8	188.3	287	180.5	222.3	263	342	417	207.8	256	304	350	396	280	333	384	434	532
	1.4	102.8	125.2	147.5	123.7	151.3	178.8	148.1	182.4	278	176.3	217.0	257	333	407	203.9	252	298	343	388	276	327	377	426	522
	1.5	97.0	118.0	139.0	118.3	144.5	170.6	143.1	176.2	268	171.8	211.4	250	324	395	199.7	246	292	336	380	271	321	370	418	512
	1.6	91.2	110.8	130.5	112.6	137.4	162.2	137.8	169.6	257	167.0	205.5	243	314	383	195.4	241	285	328	371	266	315	363	410	502
	1.7	85.5	103.8	122.1	106.8	130.2	153.6	132.3	162.8	246	161.9	199.2	235	304	370	190.7	235	278	320	362	260	309	355	401	491
	1.8	80.0	96.9	113.9	101.0	123.0	145.0	126.6	155.8	235	156.6	192.6	228	294	357	185.9	229	271	311	352	254	302	347	392	479
	1.9	74.7	90.4	106.2	95.3	115.9	136.6	120.9	148.6	223	151.1	185.8	219	283	343	180.8	223	263	303	342	248	295	339	382	467
	2.0	69.7	84.3	99.0	89.8	109.1	128.5	115.0	141.4	212	145.4	178.7	211	271	329	175.4	216	255	293	331	242	287	330	372	455
	2.1	65.0	78.6	92.2	84.4	102.5	120.7	109.3	134.2	201	139.7	171.6	202	260	315	169.9	209	247	284	320	236	279	321	362	441
	2.2	60.7	73.3	86.0	79.3	96.2	113.3	103.6	127.3	190	133.8	164.3	194	248	301	164.3	202.3	239	274	309	229	271	311	351	428
	2.3	56.7	68.4	80.3	74.5	90.4	106.3	98.2	120.5	180	128.0	157.1	185	237	287	158.5	195.2	230	264	298	222	263	302	340	414
	2.4	53.0	63.9	75.0	70.0	84.9	99.8	92.9	114.0	170	122.2	150.0	176	226	273	152.6	187.9	221	254	286	215	254	292	328	400
	2.5	49.6	59.8	70.2	65.9	79.8	93.8	87.9	107.9	160	116.6	143.1	168.2	215	259	146.8	180.6	213	244	275	207	245	282	317	385
	2.6	46.5	56.0	65.7	62.0	75.0	88.2	83.2	102.0	151.2	111.1	136.3	160.2	204	247	140.9	173.4	204	234	264	200	237	271	305	371
	2.7	43.6	52.6	61.7	58.4	70.6	83.0	78.7	96.5	142.9	105.8	129.8	152.4	194	234	135.2	166.3	196	224	252	192.6	228	261	294	357
	2.8	41.0	49.4	57.9	55.0	66.6	78.2	74.5	91.3	135.1	100.8	123.6	145.0	185	223	129.6	159.3	187	214	242	185.4	219	251	282	343
	2.9	38.6	46.5	54.5	51.9	62.8	73.8	70.6	86.5	127.8	96.0	117.6	138.0	176	212	124.1	152.5	179	205	231	178.2	211	241	271	329
	3.0	36.4	43.8	51.4	49.0	59.3	69.7	66.9	82.0	121.0	91.4	112.0	131.3	167	201	118.8	146.0	171.5	196	221	171.2	203	232	260	316
	3.1	34.4	41.4	48.5	46.4	56.1	65.9	63.4	77.7	114.7	87.0	106.6	125.0	159.0	191	113.7	139.7	164.0	187	211	164.4	194	222	250	302
	3.2	32.5	39.1	45.8	43.9	53.1	62.4	60.2	73.8	108.8	82.9	101.6	119.1	151.3	182	108.8	133.6	156.8	179	202	157.8	187	213	239	290
	3.3	30.7	37.0	43.4	41.6	50.3	59.1	57.2	70.1	103.3	79.0	96.8	113.4	144.1	173	104.1	127.9	150.0	171	193	151.4	179	205	229	278
	3.4	29.1	35.1	41.1	39.5	47.8	56.1	54.4	66.7	98.1	75.4	92.3	108.2	137.3	165	99.6	122.3	143.5	163.8	185	145.3	171.7	196	220	266
	3.5	27.6	33.3	39.0	37.5	45.4	53.3	51.8	63.4	93.4	71.9	88.1	103.2	131.0	157.3	95.3	117.1	137.3	156.7	177	139.4	164.7	188	211	255
	3.6	26.3	31.6	37.0	35.7	43.1	50.7	49.3	60.4	88.9	68.7	84.1	98.5	125.0	150.0	91.3	112.1	131.5	150.0	169	133.8	158.1	181	202	245
	3.7	25.0	30.1	35.2	34.0	41.1	48.2	47.0	57.6	84.7	65.6	80.3	94.1	119.4	143.3	87.5	107.4	125.9	143.6	161.7	128.4	151.7	173.3	194	235
	3.8	23.8	28.6	33.5	32.4	39.1	46.0	44.9	55.0	80.8	62.7	76.8	90.0	114.1	136.9	83.8	102.9	120.6	137.6	154.9	123.3	145.6	166.3	186	225
	3.9	22.7	27.3	32.0	30.9	37.3	43.9	42.9	52.5	77.2	60.0	73.5	86.1	109.1	130.9	80.4	98.7	115.7	131.9	148.5	118.4	139.8	159.7	179	216
	4.0	21.6	26.0	30.5	29.5	35.7	41.9	41.0	50.2	73.8	57.5	70.4	82.4	104.4	125.3	77.1	94.7	110.9	126.5	142.4	113.7	134.3	153.4	172	207
	4.2	19.8	23.8	27.9	27.0	32.6	38.3	37.6	46.0	67.6	52.8	64.7	75.7	95.9	115.0	71.1	87.3	102.2	116.5	131.2	105.1	124.1	141.7	158.6	191 ①
	4.4				24.8	29.9	35.2	34.6	42.3	62.1	48.7	59.6	69.7	88.3	105.9	65.7	80.6	94.4	107.6	121.1	97.3	114.9	131.2	146.7	177
	4.6				22.8	27.6	32.4	31.9	39.0	57.2	45.0	55.1	64.4	81.6	97.8	60.8	74.7	87.4	99.6	112.1	90.3	106.6	121.6	136.1	164
	4.8				21.1	25.5		29.5	36.1	52.9	41.7	51.0	59.7	75.5	90.5	56.5	69.3	81.2	92.5	104.0	83.9	99.1	113.1	126.4	153
	5.0						③	27.3	33.5	49.1	38.7	47.4	55.4	70.1	84.0 ②	52.5	64.5	75.5	86.0	96.8	78.2	92.3	105.3	117.7	142

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L80×					2L90×					2L100×							2L110×				
		5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
		面积 A (cm^2)																					
		7.91	9.4	10.86	12.30	15.13	10.64	12.3	13.94	17.17	20.31	11.93	13.8	15.64	19.26	22.8	26.26	29.63	15.2	17.24	21.26	25.20	29.06
	1.5	294	349	403	456	559	406	469	531	653	771	464	537	608	747	883	1016	1144	600	680	838	992	1143
	1.6	290	343	396	448	549	401	463	524	644	760	459	531	601	739	873	1004	1131	594	674	830	983	1131
	1.7	284	337	389	440	539	395	456	516	635	748	454	524	594	730	863	991	1117	589	667	822	973	1120
	1.8	279	331	382	431	528	389	449	509	625	737	448	518	587	721	852	978	1102	583	660	813	962	1108
	1.9	273	324	374	422	516	383	442	500	615	724	443	511	579	711	840	965	1086	576	653	804	952	1095
	2.0	267	317	366	413	505	376	435	492	604	711	437	504	571	701	828	951	1070	570	646	795	941	1082
	2.1	261	309	357	403	492	370	427	483	593	698	430	497	563	691	816	936	1054	563	638	785	929	1069
	2.2	255	302	348	393	479	363	419	473	581	684	424	490	554	680	803	921	1036	556	630	775	917	1055
	2.3	248	294	339	382	466	355	410	464	569	669	417	482	545	669	790	906	1018	549	622	765	905	1040
	2.4	241	285	329	371	452	348	402	454	556	654	410	474	536	657	776	889	1000	542	613	755	892	1025
	2.5	234	277	319	360	438	340	393	443	543	638	403	465	527	645	761	872	980	534	605	744	879	1010
	2.6	227	268	309	348	424	332	383	433	530	622	396	457	517	633	746	855	960	526	596	732	865	994
	2.7	220	260	299	337	409	324	374	422	516	605	388	448	507	620	731	837	940	518	586	721	851	978
	2.8	213	251	289	325	395	315	364	410	502	588	380	438	496	607	715	818	918	509	576	708	837	960
	2.9	205	242	279	314	381	307	354	399	488	571	372	429	485	594	699	799	897	501	566	696	822	943
	3.0	198	234	269	302	367	298	344	388	474	554	364	419	474	580	682	780	874	492	556	683	806	925
	3.1	191	225	259	291	353	289	334	376	459	537	355	409	463	566	665	760	852	482	546	670	791	906
	3.2	184	217	250	280	339	281	323	364	445	520	347	399	452	551	648	740	829	473	535	656	774	887
	3.3	177	209	240	270	326	272	313	353	431	503	338	389	440	537	631	720	806	463	524	643	758	868
	3.4	170	201	231	259	314	263	303	342	417	486	329	379	428	523	614	700	784	453	513	629	741	848
	3.5	164	193	222	249	301	255	294	330	403	470	320	369	417	508	597	680	761	444	501	615	724	829
	3.6	158	186	214	240	290	246	284	319	389	454	312	358	405	494	580	660	738	433	490	600	707	809
	3.7	152	179	206	231	278	238	274	309	376	438	303	348	394	479	563	640	716	423	478	586	690	789
	3.8	146	172	198	222	268	230	265	298	363	423	294	338	382	465	546	621	694	413	466	571	673	769
	3.9	141	165	190	213	257	222	256	288	351	408	286	328	371	451	529	602	672	403	455	557	656	749
	4.0	135	159	183	205	247	215	248	278	339	394	277	319	360	438	513	583	651	393	443	543	638	729
	4.2	125	148	170	190	229	201	231	260	316	367	261	300	338	411	482	547	611	373	420	514	605	690
	4.4	116	137	157	176	212	187	216	242	295	342	245	282	318	386	452	513	573	353	398	487	572	652
	4.6	108	127	146	164	197	175	202	226	275	319	231	265	299	363	424	481	537	334	377	460	540	615
	4.8	101	119	136	153	184	164	188	212	257	298	217	249	281	341	399	452	504	316	356	435	510	581
	5.0	94.1	111	127	142	171	153	176	198	241	279	204	234	264	320	374	424	473	299	336	411	482	548
	5.2	88.0	103	119	133	160	144	165	186	225	261	192	220	249	301	352	399	444	282	318	388	455	518
	5.4	82.4	96.8	111	125	150	135	155	174	212	245	181	207	234	283	331	375	418	267	301	367	430	489
	5.6	77.3	90.8	104	117	140	127	146	164	199	230	170	195	221	267	312	353	393	253	284	347	407	462
	5.8	72.6	85.3	98.0	110	132	119	137	154	187	217	161	184	208	252	294	333	371	239	269	328	385	437
	6.0	68.3	80.3	92.2	103	124	113	130	145	176	204	152	174	197	238	278	314	350	227	255	311	364	414

① ①

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L125×				2L140×				2L160×				2L180×				4L200×				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积 A (cm^2)																				
		19.75	24.37	28.91	33.37	27.37	32.51	37.57	42.54	31.5	37.44	43.3	49.07	42.24	48.9	55.47	61.95	54.64	62.01	69.30	76.5	90.66
	2.0	760	937	1110	1279	1073	1273	1470	1663	1259	1495	1728	1957	1710	1979	2244	2388	2235	2536	2701	2980	3528
	2.1	753	928	1099	1267	1065	1264	1459	1650	1251	1486	1717	1944	1701	1969	2232	2375	2225	2524	2688	2966	3512
	2.2	746	919	1088	1254	1056	1253	1447	1636	1243	1476	1706	1931	1692	1958	2220	2362	2214	2512	2675	2952	3495
	2.3	738	909	1077	1241	1048	1243	1435	1622	1235	1466	1694	1919	1683	1947	2207	2349	2204	2500	2663	2938	3478
	2.4	730	900	1066	1227	1039	1232	1423	1608	1226	1456	1683	1905	1674	1936	2195	2335	2193	2488	2650	2924	3460
	2.5	722	890	1054	1213	1030	1222	1410	1594	1218	1446	1671	1892	1664	1925	2182	2322	2183	2476	2636	2909	3443
	2.6	714	880	1042	1199	1020	1210	1397	1579	1209	1436	1659	1878	1654	1914	2169	2308	2172	2463	2623	2894	3425
	2.7	706	869	1029	1184	1011	1199	1383	1563	1201	1426	1647	1864	1644	1902	2156	2294	2161	2451	2610	2879	3407
	2.8	697	858	1016	1169	1001	1187	1370	1547	1192	1415	1634	1850	1634	1891	2142	2279	2149	2438	2596	2864	3389
	2.9	688	847	1002	1153	991	1175	1355	1531	1182	1404	1621	1835	1624	1879	2129	2264	2138	2425	2582	2848	3370
	3.0	679	836	989	1137	980	1162	1341	1514	1173	1392	1608	1820	1614	1867	2115	2249	2126	2412	2568	2833	3351
	3.1	669	824	974	1120	970	1150	1326	1497	1163	1381	1594	1805	1603	1854	2101	2234	2115	2398	2553	2817	3332
	3.2	660	812	960	1103	959	1136	1310	1480	1153	1369	1581	1789	1592	1841	2086	2219	2103	2385	2539	2801	3312
	3.3	650	799	945	1086	947	1123	1295	1461	1143	1357	1566	1773	1581	1829	2071	2203	2091	2371	2524	2784	3293
	3.4	639	786	929	1068	936	1109	1278	1443	1133	1345	1552	1756	1570	1815	2056	2187	2078	2357	2509	2767	3272
	3.5	629	773	914	1049	924	1095	1262	1424	1122	1332	1537	1739	1558	1802	2041	2170	2066	2343	2493	2750	3252
	3.6	618	760	897	1030	912	1080	1245	1404	1112	1319	1522	1722	1547	1788	2025	2153	2053	2328	2478	2733	3231
	3.7	607	746	881	1011	899	1065	1227	1384	1100	1306	1506	1704	1534	1774	2009	2136	2040	2313	2462	2715	3209
	3.8	596	732	864	992	886	1050	1209	1363	1089	1292	1490	1686	1522	1760	1993	2118	2027	2298	2445	2697	3187
	3.9	585	718	848	972	873	1034	1191	1343	1078	1278	1474	1667	1510	1745	1976	2100	2013	2283	2429	2678	3165
	4.0	573	704	830	952	860	1018	1173	1321	1066	1264	1457	1648	1497	1730	1959	2082	2000	2267	2412	2660	3142
	4.2	550	675	796	912	833	986	1134	1278	1041	1234	1423	1608	1470	1699	1923	2044	1971	2234	2377	2621	3096
	4.4	527	646	761	872	805	952	1095	1233	1016	1204	1387	1567	1443	1667	1887	2004	1942	2201	2341	2581	3047
	4.6	503	617	727	832	776	918	1056	1187	989	1172	1350	1525	1414	1634	1848	1963	1911	2166	2303	2539	2997
	4.8	480	589	693	792	747	883	1015	1142	962	1139	1312	1481	1384	1599	1808	1920	1879	2130	2264	2496	2944
	5.0	458	561	660	754	719	849	975	1096	934	1106	1273	1437	1354	1563	1767	1875	1847	2092	2224	2451	2890
	5.2	436	534	628	718	690	815	936	1051	905	1072	1233	1391	1322	1526	1725	1830	1812	2053	2182	2404	2834
	5.4	415	508	598	682	662	781	897	1006	877	1037	1193	1346	1289	1488	1681	1783	1777	2013	2139	2356	2776
	5.6	395	483	569	649	634	748	858	963	848	1003	1152	1300	1256	1449	1637	1735	1741	1971	2094	2306	2716
	5.8	376	460	541	617	607	716	821	921	819	968	1112	1254	1222	1410	1592	1687	1704	1929	2049	2256	2655
	6.0	358	438	514	586	581	685	786	881	790	934	1072	1209	1188	1370	1546	1638	1666	1885	2002	2204	2592
	6.2	341	417	490	558	556	655	751	842	762	900	1033	1164	1153	1330	1500	1589	1627	1841	1954	2151	2528
	6.4	325	397	466	531	532	627	718	805	734	867	995	1121	1119	1290	1454	1540	1587	1796	1906	2097	2464
	6.6	309	378	444	506	509	599	687	769	706	835	957	1078	1084	1250	1409	1491	1548	1750	1857	2043	2399
	6.8	295	360	423	482	487	573	657	736	680	803	921	1037	1050	1210	1364	1443	1507	1705	1808	1988	2334
	7.0	281	344	404	460	466	549	629	704	654	773	886	997	1016	1171	1319	1395	1467	1659	1759	1934	2268

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$，按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_x = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_x = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_x = 250$ 时的界线。

5）Q235 钢　两个热轧等边角钢（两边相连）轴心受压稳定时的承载力设计值（kN）

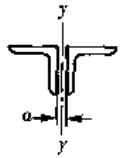
表 19-9

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L45			2L50			2L56			2L63					2L70					2L75				
		4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm^2)																							
		6.97	8.58	10.15	7.79	9.61	11.38	8.78	10.83	16.73	9.96	12.29	14.58	19.03	23.31	11.14	13.75	16.32	18.85	21.33	14.82	17.59	20.32	23.01	28.25
	0.75	125	154	182	144	178	210	167	206	316	194	239	283	369	451	220	272	322	372	421	296	351	405	458	562
	0.80	123	150	178	142	175	206	165	203	312	192	236	280	364	445	218	269	319	368	416	293	348	401	454	557
	0.85	120	147	173	139	171	202	162	200	307	190	233	277	360	440	216	266	316	365	412	290	345	398	450	551
	0.90	117	143	169	137	168	198	160	197	302	187	230	273	355	434	214	264	313	361	408	288	341	394	446	546
	0.95	114	139	164	134	164	194	157	194	297	185	227	270	350	428	212	261	309	357	404	285	338	390	441	541
	1.0	110	135	159	131	161	189	155	190	291	182	224	266	345	422	209	258	306	353	399	282	335	386	437	535
	1.1	103	127	149	124	153	179	149	183	280	177	218	258	335	408	205	252	299	344	389	277	328	378	428	524
	1.2	96.1	118	138	117	144	169	142	175	267	171	211	249	323	394	199	245	291	335	379	270	320	370	418	511
	1.3	88.9	109	127	110	135	158	136	167	254	165	203	240	311	379	194	238	282	326	368	264	313	361	407	498
	1.4	81.8	100	117	103	126	148	129	158	239	159	195	231	298	362	188	231	273	315	356	257	304	351	396	484
	1.5	75.0	91.5	107	95.8	117	137	121	149	225	152	186	220	284	345	182	223	264	304	343	249	295	340	384	469
	1.6	68.7	83.8	98.1	88.8	109	127	114	140	211	145	177	210	270	328	175	215	254	292	330	241	286	329	371	453
	1.7	63.0	76.7	89.8	82.2	100	117	107	131	197	138	168	199	256	310	168	206	243	280	316	233	276	318	358	436
	1.8	57.8	70.3	82.2	76.0	92.8	108	100	122	183	130	159	188	241	292	161	197	233	268	302	224	265	305	344	419
	1.9	53.1	64.6	75.5	70.2	85.8	100	93.2	114	171	123	150	177	227	275	153	188	222	255	287	215	254	293	329	401
	2.0	48.8	59.4	69.4	65.0	79.4	92.1	86.9	106	159	116	141	167	213	258	146	178	211	242	273	206	244	280	315	383
	2.1	45.0	54.8	64.0	60.2	73.5	85.2	81.1	99.2	148	109	133	157	200	242	139	169	200	230	259	197	233	268	300	365
	2.2	41.6	50.6	59.1	55.9	68.2	79.0	75.7	92.5	138	103	125	147	188	227	132	161	189	218	245	188	222	255	286	348
	2.3	38.5	46.9	54.7	51.9	63.4	73.4	70.6	86.3	129	96.6	117	138	176	213	125	152	179	206	232	179	211	242	272	330
	2.4	35.8	43.5	50.8	48.3	59.0	68.3	66.0	80.7	120	90.8	110	130	166	200	118	144	170	195	219	170	200	230	258	313
	2.5	33.3	40.5	47.3	45.1	55.0	63.7	61.8	75.5	112	85.4	104	122	156	187	112	136	160	184	207	161	190	219	245	297
	2.6	31.1	37.7	44.1	42.1	51.4	59.5	57.9	70.7	105	80.4	97.6	115	146	176	106	129	152	174	195	153	181	208	232	282
	2.7	29.0	35.3	41.2	39.4	48.1	55.6	54.4	66.4	98.5	75.8	92.0	108	138	166	100	122	143	164	185	145	172	197	220	267
	2.8	27.2	33.0	38.5	37.0	45.1	52.2	51.1	62.4	92.5	71.4	86.7	102	130	156	94.5	115	136	155	175	138	163	187	209	253
	2.9	25.5	31.0	36.1	34.7	42.4	49.0	48.1	58.7	87.0	67.4	81.8	96.2	122	147	89.5	109	128	147	165	131	155	177	198	240
	3.0	24.0	29.1	34.0	32.7	39.9	46.1	45.3	55.3	82.0	63.7	77.3	90.9	115	139	84.9	103	122	139	157	124	147	168	188	228
	3.1	22.6	27.4	32.0	30.8	37.6	43.4	42.8	52.2	77.4	60.3	73.1	85.9	109	131	80.5	97.9	115	132	148	118	139	160	179	216
	3.2	21.3	25.8	30.1	29.1	35.5	41.0	40.4	49.4	73.1	57.1	69.2	81.4	103	124	76.4	92.9	109	125	141	112	133	152	170	206
	3.3	20.1	24.4	28.5	27.5	33.5	38.7	38.3	46.7	69.2	54.1	65.6	77.1	97.9	118	72.6	88.2	104	119	134	107	126	145	162	195
	3.4	19.0	23.1	26.9	26.0	31.7	36.7	36.3	44.3	65.5	51.4	62.3	73.2	92.9	112	69.0	83.9	98.8	113	127	102	120	138	154	186
	3.5				24.7	30.1	34.8	34.4	42.0	62.2	48.8	59.2	69.5	88.3	106	65.7	79.8	94.0	108	121	97.1	114	131	146	177
	3.6				23.4	28.5	33.0	32.7	39.9	59.0	46.4	56.3	66.1	83.9	101	62.6	76.0	89.5	103	115	92.6	109	125	140	169
	3.7				22.3	27.1	31.3	31.1	37.9	56.1	44.2	53.6	63.0	79.9	96.0	59.7	72.5	85.4	97.8	110	88.4	104	119	133	161
	3.8				21.2	25.8		29.6	36.1	53.5	42.2	51.1	60.0	76.1	91.5	57.0	69.2	81.5	93.3	105	84.5	100	114	127	154
	3.9							28.2	34.4	50.9	40.2	48.7	57.3	72.6	87.3	54.4	66.1	77.8	89.1	100	80.8	95.1	109	122	147
	4.0							26.9	32.9	48.6	38.4	46.5	54.7	69.4	83.3	52.0	63.2	74.4	85.2	95.6	77.3	91.0	104	116	141
	4.2							24.6	30.0	44.4	35.1	42.6	50.0	63.4	76.2	47.7	57.9	68.1	78.0	87.6	70.9	83.5	95.7	107	129
	4.4										32.3	39.1	45.9	58.2	69.9	43.8	53.2	62.6	71.7	80.5	65.3	76.9	88.1	98.2	119
	4.6										29.7	36.0	42.3	53.6	64.4	40.4	49.1	57.8	66.1	74.2	60.2	70.9	81.3	90.6	110
	4.8										27.5	33.2	39.1			37.4	45.4	53.4	61.2	68.6	55.8	65.7	75.3	83.9	101
	5.0															34.7	42.1	49.5	56.7	63.6	51.8	60.9	69.8	77.8	94.0

① ② ③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L45			2L50			2L56			2L63					2L70					2L75				
		4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm^2)																							
		6.97	8.58	10.15	7.79	9.61	11.38	8.78	10.83	16.73	9.96	12.29	14.58	19.03	23.31	11.14	13.75	16.32	18.85	21.33	14.82	17.59	20.32	23.01	28.25
	1.00	126	157	187	139	178	213	153	200	321	167	222	274	369	456	179	242	302	359	414	256	321	383	444	560
	1.10	122	153	183	139	175	209	152	199	316	166	221	273	364	450	178	241	301	357	412	255	320	382	442	554
	1.20	119	149	178	136	171	204	151	196	310	165	220	271	359	444	177	240	299	356	407	254	318	380	440	548
	1.30	115	144	172	132	166	199	150	192	304	164	218	266	353	437	176	239	298	352	402	253	317	379	436	541
	1.40	111	139	167	129	162	194	148	188	298	163	217	261	347	429	175	238	296	347	396	251	316	377	431	534
	1.50	107	134	161	125	157	188	145	183	291	162	213	256	341	422	174	236	292	342	390	250	314	372	425	527
	1.60	102	129	154	120	152	182	141	178	284	161	209	251	334	413	173	235	287	336	383	249	312	366	419	520
	1.70	97.9	123	148	116	146	176	137	173	276	159	204	246	327	405	172	233	282	330	377	247	308	361	412	512
	1.80	93.3	117	141	111	141	169	132	168	268	156	199	240	319	396	171	228	277	324	370	246	303	355	405	504
	1.90	88.6	112	134	107	135	162	128	162	260	152	194	233	311	386	169	223	271	317	362	244	297	348	398	495
	2.00	84.1	106	127	102	129	155	123	156	251	147	188	227	303	376	168	218	265	310	354	239	291	342	391	486
	2.10	79.6	100	121	97.3	123	148	119	151	242	143	183	220	294	366	166	213	258	303	346	234	285	335	383	476
	2.20	75.3	94.9	114	92.7	117	141	114	145	233	138	177	213	285	355	161	207	252	295	338	229	279	327	375	466
	2.30	71.1	89.7	108	88.2	112	135	109	139	224	133	171	206	276	344	157	202	245	287	329	224	272	320	366	456
	2.40	67.2	84.7	102	83.9	106	128	105	133	215	129	165	199	267	333	152	196	238	279	320	218	266	312	358	445
	2.50	63.5	80.1	96.5	79.7	101	122	100	127	206	124	159	192	258	322	148	190	231	271	310	212	259	304	348	434
	2.60	60.0	75.7	91.2	75.7	95.8	116	95.7	122	197	119	153	185	248	310	143	184	224	263	301	206	252	296	339	423
	2.70	56.7	71.5	86.3	71.9	91.0	110	91.4	116	188	115	147	178	239	299	138	178	217	254	292	200	244	287	330	412
	2.80	53.7	67.7	81.6	68.3	86.4	104	87.3	111	180	110	141	171	230	287	134	172	209	246	282	194	237	279	320	400
	2.90	50.8	64.0	77.3	64.9	82.1	99.2	83.4	106	172	106	136	164	221	276	129	166	202	238	273	188	230	271	311	388
	3.00	48.1	60.7	73.2	61.7	78.0	94.2	79.6	101	164	102	130	157	212	266	125	160	195	229	263	182	223	262	301	376
	3.10	45.7	57.5	69.4	58.7	74.2	89.6	76.0	96.4	157	97.5	125	151	203	255	120	155	188	221	254	177	215	254	291	364
	3.20	43.3	54.6	65.9	55.8	70.6	85.3	72.6	92.1	150	93.6	120	145	195	245	116	149	181	213	245	171	208	245	282	353
	3.30	41.2	51.9	62.6	53.2	67.2	81.2	69.4	88.0	143	89.8	115	139	187	235	112	143	175	205	236	165	201	237	273	341
	3.40	39.2	49.3	59.5	50.7	64.1	77.4	66.3	84.1	137	86.2	110	133	179	225	108	138	168	198	227	159	195	229	263	330
	3.50	37.3	46.9	56.6	48.3	61.1	73.8	63.4	80.4	131	82.7	106	128	172	216	104	133	162	190	219	154	188	221	254	318
	3.60	35.5	44.7	53.9	46.1	58.3	70.4	60.7	76.9	125	79.4	102	123	165	208	100	128	156	183	211	149	181	214	246	308
	3.70	33.9	42.6	51.4	44.1	55.7	67.2	58.1	73.6	120	76.3	97.6	118	158	199	96.4	123	150	177	203	144	175	206	237	297
	3.80	32.3	40.7	49.1	42.1	53.2	64.2	55.7	70.5	115	73.3	93.7	113	152	191	92.9	119	145	170	195	139	169	199	229	287
	3.90	30.9	38.9	46.9	40.3	50.9	61.4	53.4	67.5	110	70.4	90.0	108	146	184	89.6	115	139	164	188	134	163	192	221	277
	4.00	29.5	37.2	44.8	38.6	48.7	58.8	51.2	64.7	105	67.7	86.5	104	140	177	86.4	110	134	158	181	129	157	185	213	267
	4.20	27.1	34.1	41.1	35.5	44.7	54.0	47.2	59.6	97.0	62.7	80.0	96.3	130	163	80.4	103	125	146	168	121	147	173	199	249
	4.40	24.9	31.3	37.8	32.7	41.2	49.7	43.6	55.1	89.5	58.2	74.2	89.2	120	151	74.9	95.4	116	136	156	113	137	161	185	232
	4.60	23.0	28.9	34.8	30.2	38.1	45.9	40.4	51.0	82.9	54.0	68.9	82.8	112	140	69.9	88.9	108	127	146	105	128	150	173	217
	4.80	21.3	26.7	32.2	28.0	35.3	42.5	37.5	47.3	76.9	50.3	64.1	77.0	104	131	65.3	83.0	101	118	136	98.4	120	141	162	202
	5.00	19.7	24.8	29.9	26.0	32.7	39.5	34.9	44.0	71.5	46.9	59.7	71.8	96.6	122	61.1	77.6	94.0	110	127	92.2	112	132	151	189
	5.20	18.3	23.0	27.8	24.2	30.5	36.8	32.6	41.0	66.6	43.9	55.8	67.0	90.2	114	57.2	72.6	88.0	103	119	86.5	105	123	142	178 ①
	5.40				22.6	28.4	34.3	30.4	38.3	62.2	41.1	52.2	62.7	84.4	106	53.7	68.1	82.5	96.8	111	81.2	98.5	116	133	167
	5.60				21.1	26.6	32.1	28.5	35.9	58.2	38.5	49.0	58.8	79.1	100	50.5	64.0	77.4	90.9	104	76.4	92.6	109	125	157
	5.80						30.1	26.7	33.7	54.6	36.2	46.0	55.2	74.3	93.5	47.6	60.2	72.8	85.5	98.1	72.0	87.2	102	118	147
	6.00						③	25.1	31.6	51.3	34.1	43.3	51.9	69.8	87.9 ②	44.9	56.7	68.6	80.5	92.4	67.9	82.3	97	111	139



L45～L75，
a = 6mm

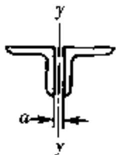
续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L80					2L90					2L100							2L110				
		5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
		面积 A (cm^2)																					
		15.82	18.79	21.72	24.61	30.25	21.27	24.6	27.89	34.33	40.61	23.86	27.59	31.28	38.52	45.6	52.51	59.25	30.39	34.48	42.52	50.4	58.11
	1.0	305	362	418	473	581	418	484	548	673	795	476	550	624	767	907	1043	1176	613	695	857	1015	1169
	1.1	300	356	411	465	570	412	476	539	663	783	470	543	615	757	895	1029	1160	606	688	847	1003	1155
	1.2	294	349	402	455	558	405	469	530	652	769	464	536	607	746	883	1015	1143	599	680	837	991	1141
	1.3	287	341	394	445	546	399	461	521	640	756	457	528	598	736	870	999	1126	592	671	827	979	1127
	1.4	281	333	384	434	532	391	452	511	628	741	450	520	589	724	856	983	1108	584	663	816	966	1112
	1.5	274	325	375	423	518	384	443	501	616	726	443	512	580	712	842	967	1089	577	654	805	953	1096
	1.6	266	316	364	411	503	375	434	490	602	709	435	503	570	700	827	949	1069	568	645	794	939	1080
	1.7	258	306	353	398	487	367	424	479	588	692	428	494	559	687	811	931	1048	560	635	782	924	1063
	1.8	250	296	342	385	471	358	413	467	573	674	419	484	548	673	795	911	1026	551	625	769	909	1045
	1.9	241	286	330	371	454	349	402	454	557	655	411	474	537	658	777	891	1002	542	614	756	893	1027
	2.0	232	275	317	357	436	339	391	441	541	635	402	464	525	643	759	870	978	532	603	742	876	1007
	2.1	223	264	305	343	418	328	379	428	524	615	392	453	512	627	740	848	953	522	591	728	859	987
	2.2	214	253	292	328	400	318	367	414	506	594	382	441	499	611	721	825	927	511	579	713	841	965
	2.3	205	242	279	314	382	307	354	399	488	572	372	429	486	594	700	801	899	500	567	697	822	943
	2.4	196	232	267	299	364	296	342	385	470	551	361	417	472	577	679	776	872	489	554	681	803	921
	2.5	187	221	254	285	347	285	329	370	452	529	351	404	457	559	658	752	843	477	541	664	783	897
	2.6	178	211	242	272	331	274	316	356	434	508	340	392	443	541	637	726	815	465	527	647	762	873
	2.7	170	201	231	259	315	263	303	341	417	487	329	379	428	523	615	701	786	453	513	629	741	848
	2.8	162	191	220	246	299	253	291	327	399	466	318	366	414	504	593	676	757	440	498	612	720	823
	2.9	154	182	209	234	285	242	279	313	382	446	306	353	399	486	572	651	729	428	484	594	698	798
	3.0	147	173	199	223	271	232	267	300	366	427	295	340	385	468	550	627	701	415	469	575	676	773
	3.1	140	165	190	212	258	222	256	287	350	408	285	328	370	451	530	602	674	402	455	557	655	748
	3.2	133	157	181	202	245	213	245	275	335	390	274	316	357	434	509	579	648	389	440	539	633	723
	3.3	127	150	172	193	234	204	235	263	321	373	264	304	343	417	490	556	622	376	426	521	612	698
	3.4	121	143	164	184	223	195	225	252	307	357	254	292	330	401	470	534	598	364	411	504	591	674
	3.5	116	137	157	175	213	187	215	241	294	342	244	281	317	385	452	513	574	352	397	487	570	650
	3.6	111	130	150	167	203	179	206	231	281	327	235	270	305	370	434	493	551	340	384	470	551	627
	3.7	106	125	143	160	194	172	198	221	270	313	226	260	293	356	417	474	529	328	371	453	531	605
	3.8	101	119	137	153	185	165	189	212	258	300	217	250	282	342	401	455	508	316	358	438	512	583
	3.9	96.7	114	131	146	177	158	182	204	248	288	209	240	271	329	386	437	489	305	345	422	494	563
	4.0	92.6	109	125	140	170	152	174	195	238	276	201	231	261	317	371	421	470	295	333	407	477	543
	4.2	85.1	100	115	129	156	140	161	180	219	254	186	214	242	293	343	389	434	275	310	379	444	505
	4.4	78.4	92.5	106	119	144	129	149	167	202	235	173	199	224	272	318	361	403	256	289	353	413	470
	4.6	72.5	85.5	98.1	110	133	120	138	154	187	218	161	185	208	253	296	335	374	239	270	330	385	438
	4.8	67.2	79.2	90.9	101	123	111	128	143	174	202	150	172	194	235	275	312	348	223	252	308	360	409
	5.0	62.4	73.6	84.4	94.2	114	104	119	133	162	188	140	161	181	219	257	290	324	209	236	288	336	382
	5.2	58.1	68.5	78.6	87.7	106	96.6	111	124	151	175	131	150	169	205	240	271	302	196	221	270	315	358
	5.4	54.2	63.9	73.3	81.9	99.1	90.3	104	116	141	164	122	140	158	192	224	254	283	184	207	253	295	335
	5.6	50.7	59.8	68.6	76.5	92.7	84.6	97.2	109	132	153	115	132	149	180	210	238	265	172	195	238	277	315
	5.8	47.5	56.0	64.3	71.7	86.8	79.3	91.2	102	124	144	108	124	139	169	197	223	249	162	183	224	261	296
	6.0	44.6	52.6	60.3	67.3	81.5	74.6	85.7	95.9	116	135	101	116	131	159	186	210	234	153	173	211	246	279
	6.2	42.0					70.2	80.7	90.2	110	127	95.5	110	124	150	175	198	211	144	163	199	232	263
	6.4						66.2	76.1	85.1	103	120	90.1	104	117	141	165	187	208	136	154	188	219	248
	6.6						62.5	71.9	80.4	97.6	113	85.2	97.9	110	134	156	177	197	129	146	178	207	235
	6.8						59.2	68.0	76.0	92.3		80.7	92.7	104	126	148	167	186	122	138	168	196	223
	7.0											76.5	87.9	99	120	140	158	177	116	131	160	186	211

① ② ③

续表

对应轴简图



L80～L110，
a = 6mm

计算长度 l_{oy} (m)	2L80					2L90					2L100							2L110				
	5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
	面积 A (cm^2)																					
	15.82	18.79	21.72	24.61	30.25	21.27	24.6	27.89	34.33	40.61	23.86	27.59	31.28	38.52	45.6	52.51	59.25	30.39	34.48	42.52	50.4	58.11
1.50	261	331	398	458	570	363	441	516	655	782	392	482	568	732	885	1026	1164	514	612	797	974	1143
1.60	260	330	395	452	563	362	440	514	648	773	391	481	566	730	877	1017	1154	513	610	795	971	1135
1.70	259	328	389	446	555	361	438	512	641	765	389	479	565	727	869	1008	1143	512	609	793	969	1126
1.80	257	326	384	439	547	359	436	507	633	756	388	477	563	720	861	999	1133	510	607	791	961	1117
1.90	256	321	378	433	539	357	434	501	626	747	387	476	561	713	853	989	1122	509	606	789	953	1108
2.00	254	316	371	425	530	356	430	494	618	738	385	474	559	705	844	979	1110	507	604	786	945	1098
2.10	252	310	365	418	521	354	424	487	609	728	383	472	556	697	834	968	1098	505	602	779	936	1088
2.20	251	304	358	410	511	352	417	480	600	718	382	470	548	689	825	957	1086	504	600	772	927	1077
2.30	244	298	350	402	501	350	411	472	591	707	380	468	541	680	814	945	1073	502	597	764	918	1066
2.40	238	291	343	394	491	342	404	465	582	696	378	465	534	672	804	933	1060	500	595	756	908	1055
2.50	233	285	335	385	480	336	397	457	572	684	376	456	527	662	793	921	1046	498	593	747	898	1044
2.60	227	278	327	376	469	329	389	448	561	672	374	450	519	653	782	908	1032	495	590	738	887	1032
2.70	221	271	319	367	458	323	382	440	551	660	372	442	511	643	770	895	1017	493	576	729	876	1019
2.80	215	264	311	357	447	316	374	431	540	647	370	435	502	633	758	881	1002	491	569	719	865	1006
2.90	209	257	302	348	435	309	366	421	529	634	359	428	494	622	746	867	986	488	561	709	854	993
3.00	204	249	294	338	423	302	358	412	517	621	353	420	485	611	733	853	970	476	552	699	842	979
3.10	198	242	286	328	411	295	349	403	506	607	346	412	476	600	720	838	954	469	544	689	829	965
3.20	192	235	277	319	399	288	341	393	494	593	339	404	467	589	706	823	937	461	535	678	817	951
3.30	186	228	269	309	387	281	333	383	482	579	332	395	457	577	693	807	919	454	526	667	804	936
3.40	180	221	260	300	375	273	324	374	470	565	325	387	448	565	679	791	901	446	517	656	790	921
3.50	174	214	252	290	364	266	315	364	458	550	318	379	438	553	665	775	883	438	508	644	777	905
3.60	169	207	244	281	352	259	307	354	445	536	311	370	428	541	650	759	865	429	499	633	763	889
3.70	164	200	236	272	341	252	299	344	433	522	304	362	418	529	636	742	846	421	489	621	749	873
3.80	158	194	228	263	330	245	290	335	421	508	297	353	408	517	621	725	828	413	479	609	735	857
3.90	153	187	221	254	319	238	282	325	410	494	289	345	399	504	607	709	809	404	470	596	720	840
4.00	148	181	214	246	309	231	274	316	398	480	282	336	389	492	592	692	790	396	460	584	706	824
4.20	139	170	200	230	289	218	258	298	375	453	268	319	370	468	563	658	753	379	440	560	677	790
4.40	130	159	187	215	270	206	244	281	354	427	255	303	351	444	535	626	716	362	421	535	647	756
4.60	122	149	175	202	253	194	229	265	333	402	242	288	333	421	507	594	680	346	402	511	618	722
4.80	114	139	164	189	237	183	216	249	314	379	229	273	315	399	481	563	645	330	383	487	590	689
5.00	107	131	154	177	222	172	204	235	296	357	218	258	299	378	456	534	611	315	365	464	562	657
5.20	101	123	145	166	209	163	192	222	279	337	206	245	283	358	432	506	580	300	348	442	535	626
5.40	95.0	116	136	156	196	154	181	209	263	318	196	232	268	339	409	479	550	285	331	421	510	596
5.60	89.6	109	128	147	185	145	171	198	248	300	186	220	254	322	388	454	521	272	315	400	485	567
5.80	84.5	103	121	139	174	137	162	187	235	284	176	209	241	305	367	431	494	259	300	381	462	540
6.00	79.8	96.9	114	131	164	130	153	177	222	268	168	198	229	289	349	409	469	247	286	363	440	514
6.20	75.5	91.6	108	124	155	123	145	167	210	254	159	189	217	275	331	388	445	235	272	346	419	490
6.40	71.5	86.7	102	117	147	117	138	159	199	241	152	179	207	261	315	369	423	224	260	329	399	467
6.60	67.8	82.2	96.5	111	139	111	131	151	189	229	141	171	197	248	299	351	403	214	248	314	380	445
6.80	64.4	78.0	91.6	105	132	106	124	143	180	217	138	162	187	236	285	334	383	205	236	300	363	424
7.00	61.2	74.1	87.0	100	125	101	118	136	171	206	131	155	178	225	271	318	365	195	226	286	346	405

①

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L125				2L140				2L160				2L180				2L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积 A (cm^2)																				
		39.5	48.75	57.82	66.73	54.75	65.02	75.13	85.08	63	74.88	86.59	98.13	84.48	97.79	110.93	123.91	109.28	124.03	138.6	153.01	181.32
	1.5	768	946	1121	1292	1082	1284	1482	1677	1267	1505	1739	1970	1720	1990	2257	2402	2246	2549	2714	2995	3547
	1.6	759	935	1108	1277	1072	1272	1468	1661	1257	1493	1726	1954	1709	1977	2242	2386	2233	2534	2699	2978	3526
	1.7	750	924	1095	1262	1062	1259	1453	1645	1247	1482	1712	1938	1697	1964	2226	2370	2220	2519	2683	2960	3505
	1.8	741	913	1081	1245	1051	1246	1438	1627	1237	1469	1698	1922	1686	1950	2211	2353	2207	2504	2667	2942	3484
	1.9	731	901	1067	1229	1040	1233	1423	1610	1227	1457	1683	1905	1674	1937	2195	2336	2194	2489	2650	2924	3462
	2.0	721	888	1052	1211	1028	1219	1407	1591	1216	1444	1668	1888	1662	1923	2179	2319	2180	2473	2634	2906	3440
	2.1	711	875	1036	1193	1017	1205	1390	1572	1205	1431	1653	1871	1649	1908	2163	2301	2166	2458	2617	2887	3417
	2.2	700	862	1020	1174	1004	1190	1373	1553	1194	1418	1637	1853	1637	1894	2146	2283	2152	2442	2600	2868	3394
	2.3	689	848	1003	1154	992	1175	1355	1532	1182	1404	1621	1834	1624	1879	2129	2265	2138	2425	2582	2848	3371
	2.4	677	833	986	1134	978	1159	1337	1511	1170	1390	1604	1815	1611	1863	2111	2246	2123	2409	2564	2829	3347
	2.5	665	818	968	1113	965	1143	1317	1489	1158	1375	1587	1796	1597	1848	2093	2227	2108	2392	2546	2808	3323
	2.6	653	802	949	1091	951	1126	1298	1467	1145	1360	1570	1776	1583	1831	2075	2207	2093	2374	2527	2788	3298
	2.7	640	786	930	1068	936	1109	1277	1443	1132	1344	1551	1755	1569	1815	2056	2187	2078	2357	2508	2766	3273
	2.8	626	769	910	1045	921	1091	1256	1419	1119	1328	1533	1733	1555	1798	2036	2166	2062	2338	2489	2745	3247
	2.9	613	752	889	1021	906	1072	1234	1394	1105	1312	1513	1711	1540	1780	2016	2144	2046	2320	2469	2723	3220
	3.0	599	735	869	997	890	1053	1212	1369	1091	1295	1493	1688	1524	1762	1996	2122	2029	2301	2449	2700	3193
	3.1	585	717	847	972	874	1033	1189	1342	1076	1277	1473	1665	1508	1744	1975	2099	2012	2282	2428	2677	3165
	3.2	570	699	826	947	857	1013	1165	1316	1061	1259	1452	1640	1492	1725	1953	2076	1995	2262	2406	2653	3136
	3.3	556	681	804	922	840	993	1141	1288	1046	1240	1430	1615	1475	1706	1931	2052	1977	2241	2385	2628	3107
	3.4	541	663	782	896	822	972	1117	1260	1030	1221	1408	1590	1458	1686	1908	2028	1958	2220	2362	2603	3077
	3.5	526	645	761	871	805	950	1092	1232	1014	1202	1385	1564	1441	1665	1885	2002	1940	2199	2339	2578	3046
	3.6	512	626	739	846	787	929	1067	1203	997	1182	1362	1537	1423	1644	1860	1976	1920	2177	2315	2552	3014
	3.7	497	608	717	821	769	907	1042	1175	980	1162	1338	1510	1404	1623	1836	1950	1901	2155	2291	2525	2982
	3.8	483	591	696	796	750	885	1016	1146	963	1141	1314	1482	1386	1601	1811	1923	1881	2132	2267	2497	2949
	3.9	468	573	675	772	732	864	991	1117	945	1120	1289	1454	1366	1578	1785	1895	1860	2108	2241	2469	2915

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L125				2L140				2L160				2L180				2L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积 A (cm^2)																				
		39.5	48.75	57.82	66.73	54.75	65.02	75.13	85.08	63	74.88	86.59	98.13	84.48	97.79	110.93	123.91	109.28	124.03	138.6	153.01	181.32
	4.0	455	556	655	748	714	842	966	1088	927	1099	1264	1426	1347	1555	1759	1867	1839	2084	2215	2440	2880
	4.2	427	522	615	703	678	799	916	1032	891	1056	1214	1369	1306	1508	1705	1809	1795	2034	2162	2381	2809
	4.4	402	491	578	659	643	757	867	977	855	1012	1163	1311	1264	1460	1649	1749	1750	1983	2107	2319	2734
	4.6	377	461	542	619	609	717	821	924	818	968	1113	1253	1222	1410	1593	1689	1703	1929	2049	2255	2658
	4.8	355	433	509	581	576	678	776	873	782	925	1063	1196	1178	1360	1535	1627	1655	1874	1990	2189	2579
	5.0	334	407	479	546	545	641	733	825	746	883	1014	1140	1135	1309	1477	1565	1606	1818	1930	2122	2498
	5.2	314	383	450	513	515	606	693	779	712	842	966	1086	1091	1259	1420	1503	1556	1761	1869	2054	2417
	5.4	296	360	424	483	487	573	655	737	678	802	920	1034	1048	1209	1363	1443	1505	1703	1807	1985	2335
	5.6	279	339	399	455	461	542	620	697	646	764	876	985	1006	1159	1307	1383	1454	1645	1745	1917	2253
	5.8	263	320	377	429	437	513	587	659	616	728	834	937	964	1112	1252	1325	1404	1588	1683	1848	2171
x—x	6.0	248	303	356	405	414	486	556	624	586	693	794	892	924	1065	1200	1269	1353	1531	1622	1781	2091
	6.2	235	286	336	383	393	461	527	592	559	660	756	849	885	1020	1149	1214	1304	1474	1562	1714	2012
	6.4	222	271	318	362	373	438	500	562	533	629	721	809	848	977	1100	1162	1255	1419	1503	1650	1935
	6.6	211	257	302	343	354	416	475	533	508	600	687	771	812	935	1053	1112	1208	1366	1446	1586	1860
	6.8	200	244	286	326	337	395	451	507	484	572	655	735	778	896	1008	1065	1162	1314	1391	1525	1788
	7.0	190	231	272	310	320	376	429	482	462	546	625	701	745	858	965	1020	1118	1263	1337	1466	1718
	7.2	181	220	259	294	305	358	409	459	442	521	597	670	714	822	925	976	1075	1215	1286	1410	1651
	7.4	172	210	246	280	291	341	390	438	422	498	570	640	684	788	886	936	1034	1168	1236	1355	1587
	7.6	164	200	235	267	278	326	372	418	404	477	545	612	656	755	849	897	995	1124	1189	1303	1525
	7.8	157	191	224	255	265	311	355	399	386	456	522	585	629	724	815	860	957	1081	1143	1253	1466
	8.0	150	182	214	243	254	298	340	381	370	437	500	560	604	695	782	825	921	1040	1100	1205	1410

①

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$，按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_x = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_x = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_x = 250$ 时的界线。

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L125				2L140				2L160				2L180				2L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积 A (cm^2)																				
		39.5	48.75	57.82	66.73	54.75	65.02	75.13	85.08	63	74.88	86.59	98.13	84.48	97.79	110.93	123.91	109.28	124.03	138.6	153.01	181.32
	2.00	665	883	1088	1280	965	1202	1430	1651	1061	1345	1615	1877	1464	1779	2083	2267	1931	2278	2493	2805	3411
	2.10	664	880	1085	1271	963	1200	1427	1647	1059	1343	1613	1874	1462	1777	2080	2264	1929	2276	2490	2802	3408
	2.20	662	878	1082	1262	961	1197	1424	1640	1057	1341	1611	1871	1461	1775	2078	2261	1927	2274	2488	2800	3404
	2.30	660	876	1074	1252	959	1195	1421	1630	1056	1339	1608	1868	1459	1773	2075	2258	1925	2272	2485	2797	3400
	2.40	658	873	1065	1242	956	1192	1418	1620	1054	1336	1605	1864	1457	1771	2072	2255	1923	2269	2483	2794	3396
	2.50	656	870	1056	1231	954	1189	1409	1609	1052	1334	1602	1861	1455	1768	2069	2252	1921	2267	2480	2790	3392
	2.60	654	868	1047	1221	952	1186	1400	1598	1050	1331	1599	1857	1453	1766	2066	2246	1919	2264	2477	2787	3387
	2.70	652	860	1037	1209	949	1183	1390	1586	1048	1329	1596	1853	1450	1763	2063	2245	1916	2261	2474	2783	3382
	2.80	649	852	1027	1198	947	1180	1379	1574	1046	1326	1593	1844	1448	1760	2060	2241	1914	2258	2471	2780	3378
	2.90	647	843	1017	1186	944	1170	1369	1562	1043	1323	1589	1833	1446	1757	2056	2237	1911	2255	2467	2776	3366
	3.00	644	834	1006	1174	941	1160	1358	1550	1041	1320	1585	1821	1443	1754	2053	2233	1909	2252	2464	2772	3352
	3.10	642	825	995	1161	938	1150	1346	1537	1038	1317	1582	1810	1440	1751	2049	2229	1906	2249	2460	2767	3338
	3.20	639	815	984	1148	935	1140	1335	1524	1036	1314	1570	1798	1438	1748	2045	2212	1903	2246	2456	2763	3324
	3.30	636	806	972	1135	932	1130	1323	1510	1033	1311	1559	1785	1435	1744	2041	2200	1900	2242	2453	2759	3309
	3.40	624	795	960	1121	923	1119	1310	1496	1031	1307	1548	1773	1432	1741	2037	2187	1897	2239	2449	2754	3293
	3.50	615	785	948	1107	913	1108	1298	1482	1028	1304	1537	1760	1429	1737	2023	2175	1894	2235	2444	2736	3278
	3.60	607	774	935	1093	904	1097	1285	1467	1025	1300	1525	1746	1426	1733	2011	2162	1891	2231	2440	2723	3262
	3.70	598	764	922	1078	894	1085	1271	1452	1022	1286	1513	1733	1423	1730	1999	2148	1888	2227	2436	2709	3245
	3.80	589	752	909	1063	884	1074	1258	1437	1019	1276	1500	1719	1419	1726	1986	2135	1884	2223	2431	2695	3229
	3.90	580	741	896	1047	874	1061	1244	1421	1015	1265	1488	1704	1416	1721	1973	2121	1881	2219	2408	2681	3212
	4.00	571	730	882	1032	864	1049	1229	1405	1012	1254	1475	1689	1413	1704	1960	2106	1877	2215	2395	2666	3195

L125，$a = 8mm$；
L140～L200，$a = 10mm$

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L125				2L140				2L160				2L180				2L200				
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	24
		面积 A (cm^2)																				
		39.5	48.75	57.82	66.73	54.75	65.02	75.13	85.08	63	74.88	86.59	98.13	84.48	97.79	110.93	123.91	109.28	124.03	138.6	153.01	181.32
	4.20	552	706	854	999	842	1023	1200	1372	1005	1230	1448	1659	1405	1680	1932	2077	1869	2205	2368	2636	3159
	4.40	534	682	825	966	820	997	1169	1337	998	1206	1420	1627	1397	1655	1903	2046	1861	2170	2339	2605	3122
	4.60	514	658	796	933	797	969	1138	1302	964	1181	1390	1594	1389	1628	1873	2014	1853	2143	2310	2572	3083
	4.80	495	633	767	899	773	941	1105	1265	943	1155	1360	1560	1352	1600	1841	1980	1844	2114	2279	2538	3043
	5.00	476	609	737	865	750	912	1072	1227	920	1128	1329	1525	1327	1572	1809	1946	1805	2084	2247	2503	3002
	5.20	457	585	708	831	726	884	1038	1189	898	1100	1297	1488	1302	1542	1775	1910	1777	2053	2213	2466	2959
	5.40	439	561	680	798	702	854	1005	1151	874	1072	1264	1451	1276	1511	1740	1873	1749	2020	2179	2428	2914
	5.60	421	538	652	765	678	825	971	1112	851	1043	1231	1413	1249	1480	1704	1834	1720	1987	2143	2389	2868
	5.80	404	516	625	734	654	797	937	1074	827	1014	1197	1374	1221	1448	1667	1795	1690	1952	2106	2348	2821
	6.00	387	494	599	703	631	768	904	1036	803	985	1163	1335	1193	1415	1630	1755	1659	1917	2069	2307	2772
	6.20	371	474	573	673	608	740	871	999	780	956	1129	1297	1165	1381	1592	1715	1627	1881	2030	2264	2722
	6.40	355	454	549	645	585	713	839	963	756	927	1094	1258	1136	1348	1553	1673	1595	1844	1990	2221	2670
	6.60	341	435	526	618	564	687	808	927	733	898	1061	1219	1108	1314	1514	1632	1562	1806	1950	2176	2618
	6.80	327	416	504	592	543	661	778	893	710	870	1027	1181	1079	1280	1475	1590	1529	1768	1909	2131	2565
	7.00	313	399	483	567	523	636	749	859	687	842	995	1143	1050	1246	1436	1548	1495	1729	1868	2085	2511
	7.20	300	383	463	543	503	613	721	827	665	815	962	1106	1021	1212	1397	1506	1461	1690	1826	2039	2456
	7.40	288	367	444	521	484	590	694	796	644	788	931	1070	993	1178	1359	1465	1427	1651	1784	1992	2401
	7.60	277	352	425	500	466	568	668	766	623	763	900	1035	965	1145	1320	1424	1393	1612	1742	1946	2345
	7.80	266	338	408	480	449	546	643	737	603	738	871	1001	938	1113	1283	1383	1360	1573	1699	1899	2290
	8.00	255	325	392	460	433	526	619	710	583	713	842	968	911	1081	1246	1343	1326	1534	1658	1852	2234

L125，$a = 8mm$；L140 ~ L200，$a = 10mm$

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y}$，按公式（3-51）求出 λ_m，再按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

6）Q235 钢　两个热轧不等边角钢（两短边相连）轴心受压稳定时的承载力设计值（kN）

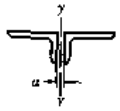
表 19-10

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L56×36×		2L63×40×				2L70×45×				2L75×50×				2L80×50×			
		4	5	4	5	6	7	4	5	6	7	5	6	8	10	5	6	7	8
		面积 A (cm^2)																	
		7.18	8.83	8.12	9.99	11.82	13.6	9.11	11.22	13.29	15.31	12.25	14.52	18.93	23.18	12.75	15.12	17.45	19.73
	0.75	113	138	165	194	223	160	160	197	231	266	223	263	342	417	231	274	314	355
	0.80	108	132	159	188	215	156	156	192	225	259	218	258	335	408	226	268	308	347
	0.85	103	125	153	180	206	152	152	186	219	251	213	252	327	398	222	262	301	339
	0.90	97.7	119	147	173	198	147	147	181	212	243	208	246	319	388	216	256	293	330
	0.95	92.6	113	141	165	189	143	143	175	205	235	203	240	311	378	211	249	285	321
	1.00	87.6	107	134	158	180	138	138	169	198	226	198	234	302	367	205	242	277	312
	1.05	82.8	101	122	143	162	133	133	163	190	218	192	227	293	355	199	235	269	302
	1.10	78.1	94.8	110	128	146	128	128	156	183	209	186	220	284	344	193	228	260	293
	1.15	73.6	89.3	98.4	115	131	123	123	150	175	200	180	213	274	332	187	220	251	282
	1.20	69.4	84.1	88.3	103	117	118	118	144	167	191	174	205	264	320	180	213	242	272
	1.25	65.4	79.2	79.5	92.7	105	113	113	138	160	183	168	198	255	308	174	205	233	262
	1.30	61.7	74.7	71.6	83.5	94.7	108	108	131	153	174	162	191	245	296	167	197	224	252
	1.35	58.2	70.4	64.8	75.5	85.6	103	103	126	146	166	156	183	235	284	161	189	215	241
	1.40	54.9	66.5	58.8	68.5	77.6	98.3	98.3	120	139	158	150	176	226	272	155	182	206	231
	1.45	51.9	62.8	53.6	62.4	70.7	93.8	93.8	114	132	151	144	169	217	261	148	175	198	222
	1.50	49.1	59.4	49.0	57.0	64.6	89.5	89.5	109	126	144	138	162	208	249	142	167	190	212
	1.55	46.5	56.2	44.9	52.3	59.2	85.4	85.4	104	120	137	132	155	199	239	136	160	182	203
	1.60	44.1	53.3	41.3	48.1	54.4	81.5	81.5	99.2	115	131	127	149	190	229	131	154	174	195
	1.65	41.8	50.6	38.1	44.4	50.2	77.8	77.8	94.7	109	125	122	143	182	219	125	147	166	186
	1.70	39.7	48.0	35.3	41.0	46.4	74.3	74.3	90.4	104	119	117	137	175	209	120	141	159	178
	1.75	37.8	45.6	32.7	38.1	43.1	71.0	71.0	86.4	100	113	112	131	167	201	115	135	153	171
	1.80	35.9	43.4	30.4	35.4	40.1	67.9	67.9	82.6	95.3	108	107	126	160	192	110	130	146	164
	1.85	34.2	41.4	28.4	33.0	37.3	64.9	64.9	79.0	91.1	104	103	121	154	184	106	124	140	157
	1.90	32.6	39.5	26.5	30.8	34.9	62.1	62.1	75.6	87.2	99.1	98.7	116	147	176	102	119	134	150
	1.95	31.2	37.7	24.8	28.9	32.7	59.5	59.5	72.3	83.4	94.8	94.7	111	141	169	97	114	129	144
	2.00	29.8	36.0	23.3	27.1	30.6	57.0	57.0	69.3	79.9	90.8	90.9	107	136	162	93.6	110	124	138
	2.10	27.3	32.9	21.9	25.5	28.8	52.5	52.5	63.8	73.5	83.5	84.0	98.4	125	150	86.4	101	114	127
	2.20	25.0	30.2	20.6	24.0	27.1	48.4	48.4	58.8	67.8	77.0	77.7	91.0	116	138	79.9	93.6	105	118
	2.30	23.1	27.9	19.5	22.6	25.6	44.8	44.8	54.4	62.7	71.2	72.0	84.4	107	128	74.1	86.8	97.7	109
	2.40	21.3	25.7	18.4	21.4	24.2	41.5	41.5	50.4	58.1	65.9	66.9	78.4	100	119	68.8	80.6	90.7	101
	2.50	19.8	23.9	17.4	20.2	22.9	38.6	38.6	46.9	54.0	61.3	62.3	73.0	92.8	111	64.1	75.0	84.5	94.3
	2.60			16.5	19.2	21.7	35.9	35.9	43.7	50.2	57.0	58.2	68.1	86.5	103	59.8	70.0	78.8	87.9
	2.70			15.6	18.2	20.6	33.6	33.6	40.8	46.9	53.2	54.4	63.6	80.9	96.5	55.9	65.4	73.6	82.1
	2.80			14.9	17.3			31.4	38.1	43.9	49.8	50.9	59.6	75.7	90.4	52.3	61.3	68.9	76.9
	2.90							29.4	35.7	41.1	46.7	47.8	55.9	71.1	84.8	49.1	57.5	64.7	72.2
	3.00							27.6	33.6	38.6	43.8	44.9	52.6	66.8	79.7	46.2	54.1	60.8	67.8

① ② ③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L56×36×4		2L63×40×				2L70×45×				2L75×50×				2L80×50×			
		4	5	4	5	6	7	4	5	6	7	5	6	8	10	5	6	7	8
		面积 A (cm^2)																	
		7.18	8.83	8.12	9.99	11.82	13.6	9.11	11.22	13.29	15.31	12.25	14.52	18.93	23.18	12.75	15.12	17.45	19.73
	1.00	130	168	141	186	228	268	152	203	252	298	218	271	372	467	221	278	332	384
	1.10	129	168	141	186	227	269	152	203	251	297	217	271	372	467	221	278	332	384
	1.20	129	168	141	185	230	265	152	203	251	297	217	271	371	462	221	278	332	384
	1.30	129	166	141	185	227	261	152	203	251	299	217	270	373	457	221	277	331	383
	1.40	132	163	140	185	223	258	151	202	250	295	217	270	369	452	221	277	331	383
	1.50	129	159	140	186	220	254	151	202	253	291	216	269	364	447	220	277	330	384
	1.60	126	156	140	182	216	250	151	202	249	287	216	269	360	442	220	276	330	380
	1.70	123	153	140	179	212	245	150	201	245	283	215	272	355	436	220	276	332	376
	1.80	120	149	143	176	208	241	150	203	242	279	215	268	350	430	219	275	328	371
	1.90	117	145	140	172	204	236	150	200	238	274	215	264	345	424	219	275	324	367
	2.00	114	141	136	168	200	231	149	196	233	269	214	260	340	418	218	276	320	362
	2.10	110	137	133	164	195	226	149	193	229	265	215	256	334	411	218	273	315	357
	2.20	107	132	130	160	190	220	153	189	225	259	211	251	329	404	218	268	310	351
	2.30	103	128	126	156	185	215	150	185	220	254	207	246	323	397	222	264	305	346
	2.40	99.4	123	123	152	180	209	146	181	215	248	203	242	317	390	219	260	300	340
	2.50	95.6	119	119	147	175	203	143	176	210	243	199	236	310	382	215	255	295	335
	2.60	91.9	114	115	143	170	197	139	172	205	237	194	231	303	374	211	250	290	328
	2.70	88.2	110	112	138	164	191	135	167	199	231	190	226	297	366	206	246	284	322
	2.80	84.6	105	108	133	159	184	131	163	194	224	185	221	290	357	202	241	278	316
	2.90	81.1	101	104	129	153	178	128	158	188	218	180	215	283	349	198	235	273	309
	3.00	77.6	96.8	100	124	148	172	124	153	183	212	175	209	275	340	193	230	266	302
	3.10	74.3	92.8	96.5	120	143	166	120	148	177	205	170	204	268	331	189	225	260	295
	3.20	71.2	88.8	92.9	115	137	160	116	144	172	199	166	198	260	322	184	219	254	288
	3.30	68.1	85.1	89.4	111	132	154	112	139	166	193	161	192	253	313	179	214	248	281
	3.40	65.2	81.5	86.0	107	127	148	108	134	161	186	156	186	246	304	175	208	241	274
	3.50	62.5	78.1	82.7	103	123	143	105	130	155	180	151	181	238	295	170	202	235	267
	3.60	59.8	74.8	79.5	98.7	118	137	101	125	150	174	146	175	231	286	165	197	228	260
	3.70	57.3	71.7	76.5	95.0	113	132	97.5	121	145	168	141	169	224	277	160	191	222	252
	3.80	55.0	68.8	73.6	91.4	109	127	94.1	117	140	163	137	164	217	269	156	186	216	245
	3.90	52.7	66.0	70.8	87.9	105	123	90.8	113	135	157	132	159	210	260	151	180	209	238
	4.00	50.6	63.3	68.1	84.6	101	118	87.6	109	131	152	128	153	203	252	147	175	203	231
	4.20	46.7	58.4	63.1	78.4	93.7	109	81.6	101	122	141	120	144	190	236	138	165	191	218
	4.40	43.1	54.0	58.5	72.8	87.0	102	76.1	94.6	114	132	112	134	178	221	130	155	180	205
	4.60	40.0	50.1	54.4	67.7	80.9	94.6	71.0	88.2	106	123	105	126	167	207	122	146	169	193
	4.80	37.1	46.5	50.7	63.0	75.4	88.1	66.3	82.4	99.0	115	98.1	118	156	195	115	137	159	181
	5.00	34.5	43.3	47.3	58.8	70.3	82.2	62.0	77.1	92.7	108	92.0	110	147	183	108	129	150	171
	5.20	32.2	40.4	44.2	54.9	65.7	76.9	58.1	72.2	86.8	101	86.3	104	138	171	101	121	141	161
	5.40	30.1	37.7	41.3	51.4	61.6	72.0	54.5	67.8	81.5	94.8	81.1	97.4	129	161	95.4	114	133	151
	5.60	28.2	35.3	38.8	48.2	57.7	67.6	51.2	63.7	76.6	89.1	76.3	91.7	122	152	89.9	108	125	143
	5.80	26.4	33.2	36.4	45.3	54.3	63.5	48.1	59.9	72.0	83.8	71.8	86.4	115	143	84.9	101	118	135 ①
	6.00	24.8	31.2 ②	34.3	42.7	51	60	45.4	56	68	79	68	81	108	135	80	96	112	127



L56×36～L80×50，
a=8mm

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L90×56×				2L100×63×				2L100×80×				2L110×70×				2L125×80×			
		5	6	7	8	6	7	8	10	6	7	8	10	6	7	8	10	7	8	10	12
		面积 A (cm^2)																			
		14.42	17.11	19.76	22.37	19.23	22.22	25.17	30.93	21.27	24.6	27.89	34.33	21.27	24.6	27.89	34.33	28.19	31.98	39.42	46.7
	1.00	245	290	334	378	343	395	447	547	408	471	534	656	392	453	512	629	536	608	747	883
	1.10	234	277	319	360	331	381	431	527	400	462	523	643	381	440	498	611	525	595	731	864
	1.20	222	263	302	340	318	366	413	505	392	452	512	628	370	427	482	591	513	581	714	843
	1.30	210	247	284	320	304	350	395	482	383	442	500	613	358	413	465	570	500	567	695	821
	1.40	197	232	266	300	289	333	375	457	373	431	487	598	344	397	448	548	486	551	675	797
	1.50	184	216	248	279	274	315	355	432	363	419	473	581	330	381	429	524	472	534	654	772
	1.60	171	201	231	259	259	297	335	407	352	407	459	563	316	364	409	500	457	517	632	745
	1.70	159	187	214	240	243	279	314	381	341	393	444	544	301	346	389	475	440	498	609	717
	1.80	147	173	198	222	228	262	294	357	329	380	428	524	285	329	369	449	424	479	585	688
	1.90	136	160	183	206	213	245	275	333	317	365	412	504	270	311	349	424	406	459	560	658
	2.00	126	148	170	190	200	229	257	311	304	351	395	483	255	294	329	400	389	439	535	628
	2.10	117	138	157	176	187	214	240	290	292	336	378	462	241	277	310	376	371	419	510	598
	2.20	109	128	146	164	174	200	224	271	279	321	361	441	227	261	292	354	354	399	485	569
	2.30	101	119	136	152	163	187	210	253	266	307	344	420	214	245	274	333	336	380	461	540
	2.40	94.4	111	127	142	153	175	196	237	254	292	328	400	201	231	258	313	320	361	437	512
	2.50	88.1	103	118	132	143	164	184	222	242	278	312	380	189	218	243	294	303	342	415	485
	2.60	82.4	96.7	111	124	134	154	172	208	230	264	297	361	179	205	229	277	288	325	393	460
	2.70	77.2	90.6	103	116	126	144	162	195	219	251	282	343	168	193	216	261	273	308	373	436
	2.80	72.4	85.0	97.1	109	119	136	152	184	208	239	268	326	159	182	203	246	259	292	353	413
	2.90	68.1	79.9	91.2	102	112	128	143	173	198	227	255	309	150	172	192	232	246	277	335	392
	3.00	64.1	75.2	85.8	96.1	105	121	135	163	188	216	242	294	142	163	181	220	234	263	318	371
	3.10	60.4	70.9	80.9	90.6	99.5	114	128	154	179	206	230	280	134	154	172	208	222	250	302	353
	3.20	57.1	66.9	76.4	85.5	94.1	108	121	145	170	196	219	266	127	146	163	197	211	238	287	335
	3.30	53.9	63.3	72.2	80.8	89.1	102	114	138	162	186	209	253	121	138	154	187	201	226	273	318
	3.40	51.1	59.9	68.4	76.5	84.4	96.6	108	130	155	178	199	241	115	131	146	177	191	215	260	303 ①
	3.50	48.4	56.8	64.8	72.6	80.2	91.7	103	124	147	169	189	230	109	125	139	168	182	205	247	289
	3.60	46.0	53.9	61.6	68.9	76.2	87.1	97.7	118	141	162	181	219	104	119	132	160	174	196	236	275
	3.70	43.7	51.3	59	65.5	72.5	82.9	92.9	112	134	154	173	209	98.8	113	126	152	166	187	225	262
	3.80	41.6	48.8	55.7	62.3	69.0	79.0	88.5	107	128	148	165	200	94.2	108	120	145	158	178	215	250
	3.90	39.6	46.5	53.1	59.3	65.8	75.3	84.4	102	123	141	158	191	89.9	103	115	139	151	170	205	239
	4.00					62.8	71.9	80.5	96.9	118	135	151	183	85.9	98.4	110	132	145	163	196	229
	4.10					60.0	68.6	77.0	92.6	113	129	145	175	82.1	94.1	105	127	139	156	188	219
	4.20					57.4	65.7	73.6	88.5	108	124	139	168	78.6	90.1	100	121	133	149	180	210
	4.30					55.0	62.8	70.4	84.7	104	119	133	161	75.3	86.3	96.0	116	127	143	173	201
	4.40					52.7	60.2	67.5		100	114	128	155	72.2	82.7	92.1	111	122	138	166	193
	4.50									96	110	123	149	69.3	79.4	88.3	107	117	132	159	185
									③ ②												

续表

对应轴简图	计算长度 l_w (m)	2L90×56×				2L100×63×				2L100×80×				2L110×70×				2L125×80×			
		5	6	7	8	6	7	8	10	6	7	8	10	6	7	8	10	7	8	10	12
		面积 A (cm^2)																			
		14.42	17.11	19.76	22.37	19.23	22.22	25.17	30.93	21.27	24.6	27.89	34.33	21.27	24.6	27.89	34.33	28.19	31.98	39.42	46.7
	1.50	237	303	366	426	328	400	469	601	363	443	520	667	347	430	508	658	467	561	737	904
	1.60	237	303	365	425	328	400	469	601	362	443	520	667	347	430	508	657	467	560	736	904
	1.70	236	302	365	425	327	399	469	600	362	442	519	666	347	429	508	657	466	560	736	903
	1.80	236	302	364	424	327	399	468	605	362	442	519	668	346	429	507	656	466	560	736	903
	1.90	236	302	364	426	327	399	468	600	361	441	518	662	346	428	507	656	466	559	735	902
	2.00	235	301	363	421	326	398	467	595	361	441	518	656	346	428	506	655	466	559	735	901
	2.10	235	301	368	417	326	398	467	589	360	440	517	649	345	428	506	654	465	558	734	901
	2.20	235	300	363	412	325	397	466	583	360	440	516	643	345	427	505	661	465	558	733	900
	2.30	234	300	359	407	325	397	469	577	360	439	515	636	345	427	505	655	464	557	733	899
	2.40	234	299	354	401	325	396	464	571	359	439	509	628	344	426	504	649	464	557	732	904
	2.50	233	302	349	396	324	396	459	565	358	438	503	621	344	426	504	644	464	556	731	898
	2.60	233	297	344	390	324	400	453	559	358	438	497	613	343	425	503	638	463	556	731	891
	2.70	233	293	339	384	323	395	448	552	357	432	491	606	343	425	502	631	463	555	730	884
	2.80	232	288	334	378	323	390	442	545	357	426	484	598	342	424	507	625	462	555	739	877
	2.90	238	283	328	372	322	385	436	538	356	420	477	589	342	423	501	619	462	554	733	870
	3.00	234	278	322	366	327	379	430	531	357	414	470	581	341	423	496	612	461	554	727	863
	3.10	229	273	317	359	323	374	424	523	351	407	462	572	341	431	490	605	461	553	721	855
	3.20	225	268	311	353	318	368	418	515	345	400	455	563	340	426	484	598	460	552	714	848
	3.30	220	262	304	346	312	362	411	508	339	394	447	553	340	421	478	591	459	552	707	840
	3.40	216	257	298	339	307	356	405	499	333	387	439	544	339	415	472	583	459	551	700	832
	3.50	211	251	292	332	302	350	398	491	327	379	431	534	339	410	466	575	458	561	693	823
	3.60	206	246	286	324	296	344	391	483	321	372	423	524	338	404	459	568	457	555	686	815
	3.70	202	240	279	317	291	338	384	474	314	365	415	514	344	398	453	560	457	549	679	806
	3.80	197	235	273	310	285	331	376	465	308	357	406	504	338	392	446	551	456	542	671	797
	3.90	192	229	266	302	280	325	369	456	301	350	398	493	333	386	439	543	455	536	663	788
	4.00	187	223	260	295	274	318	362	447	295	342	389	483	327	380	432	534	466	529	655	779
	4.20	178	212	247	281	262	305	347	429	281	327	372	462	316	367	418	517	454	516	639	759
	4.40	168	201	234	266	251	291	331	411	268	311	355	441	305	354	403	499	441	502	622	739
	4.60	159	190	222	252	239	278	316	392	255	296	338	420	293	340	388	481	428	487	604	719
	4.80	151	180	210	239	228	265	302	374	242	282	321	400	282	327	373	462	415	472	586	697
	5.00	143	170	199	226	217	252	287	357	230	268	305	380	270	314	358	444	402	457	567	676
	5.20	135	161	188	214	206	240	274	340	219	254	290	361	259	301	343	426	388	442	549	654
	5.40	128	152	178	203	196	228	260	323	207	241	275	343	248	288	328	408	375	426	530	632
	5.60	121	144	168	192	186	217	248	308	197	229	261	326	237	275	314	390	361	411	511	609
	5.80	114	137	159	182	177	207	235	293	187	218	248	309	226	263	300	373	348	396	492	587
	6.00	108	129	151	172	168	196	224	279	177	207	236	294	216	251	287	357	334	381	474	566
	6.20	103	123	143	163	160	187	213	265	169	196	224	280	207	240	275	341	321	366	456	544
	6.40	97.4	116	136	155	153	178	203	253	160	187	213	266	197	230	262	326	309	352	438	524
	6.60	92.5	111	129	147	145	170	193	241	153	178	203	253	189	219	251	312	297	338	421	504
	6.80	88.0	105	123	140	138	162	184	229	145	169	193	241	180	210	240	299	285	325	405	484
	7.00	83.7	100	117	134	132	154	176	219	138	161	184	230	172	201	229	286	274	312	389	465

L90×56～L100×63，a=6mm
L100×80～L125×80，a=8mm

①

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L140×90×				2L160×100×				2L180×110×				2L200×125×			
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18
		面积 A (cm^2)															
		36.08	44.52	52.8	60.91	50.63	60.11	69.42	78.56	56.75	67.42	77.93	88.28	75.82	87.73	99.48	111.05
	1.50	635	780	922	1059	919	1087	1253	1413	1056	1253	1445	1632	1452	1677	1900	2019
	1.60	619	760	898	1031	900	1065	1227	1383	1039	1232	1420	1604	1433	1655	1874	1991
	1.70	602	739	873	1001	881	1041	1199	1351	1020	1209	1394	1574	1413	1632	1848	1963
	1.80	585	717	846	970	860	1016	1170	1318	1001	1186	1366	1542	1393	1608	1820	1933
	1.90	566	694	819	937	839	990	1140	1282	980	1162	1338	1509	1371	1583	1792	1902
	2.00	548	670	790	903	816	963	1108	1246	959	1136	1307	1474	1349	1557	1762	1870
	2.10	528	646	761	869	793	935	1075	1207	937	1110	1276	1438	1326	1529	1730	1836
	2.20	508	621	731	834	768	906	1040	1168	914	1082	1243	1400	1302	1501	1698	1801
	2.30	488	596	701	799	744	876	1005	1128	890	1053	1210	1362	1277	1471	1664	1764
	2.40	468	571	671	764	718	845	970	1087	865	1024	1175	1322	1251	1441	1629	1726
	2.50	448	546	642	730	693	814	934	1046	840	993	1139	1281	1224	1409	1593	1687
	2.60	429	522	613	697	667	784	898	1005	814	962	1103	1239	1196	1376	1555	1646
	2.70	410	498	585	665	642	753	863	965	788	931	1067	1198	1167	1343	1517	1605
	2.80	391	475	558	633	617	723	828	926	762	900	1030	1156	1138	1308	1477	1562
	2.90	373	453	532	604	592	694	794	887	736	869	994	1114	1108	1273	1437	1519
	3.00	356	433	507	575	568	665	761	850	710	838	958	1074	1078	1238	1397	1476
	3.10	340	413	484	548	544	637	729	813	685	807	923	1033	1047	1202	1356	1432
	3.20	325	394	461	523	522	611	699	779	660	778	888	994	1016	1167	1315	1388
	3.30	310	376	440	499	500	585	669	745	635	748	855	956	986	1131	1275	1345
	3.40	296	359	420	476	480	561	641	714	611	720	822	919	956	1096	1235	1302
	3.50	283	343	401	454	460	537	614	684	588	693	790	883	925	1061	1195	1259
	3.60	271	328	384	434	441	515	588	655	566	666	760	849	896	1026	1156	1218
	3.70	259	313	367	415	423	494	564	627	545	641	731	816	867	993	1118	1177
	3.80	248	300	351	397	406	473	541	601	524	617	703	784	838	960	1080	1137
	3.90	237	287	336	380	389	454	519	577	504	593	676	754	811	928	1044	1099
	4.00	227	275	322	364	374	436	498	554	485	571	650	726	784	897	1009	1061
	4.20	209	253	296	335	345	403	459	511	450	529	602	672	733	837	942	990
	4.40	193	233	273	308	319	372	425	472	418	491	559	623	685	782	880	924
	4.60	179	216	252	285	296	345	394	437	389	457	519	579	640	731	822	863
	4.80	166	200	234	264	275	321	366	406	362	425	484	539	599	684	769	807
	5.00	154	186	217	245	256	298	340	378	338	397	451	502	562	641	720	756
	5.20	143	173	203	229	239	278	317	352	316	371	421	469	527	601	675	709
	5.40	134	162	189	213	223	260	297	329	296	347	395	439	495	564	634	665
	5.60	125	151	177	200	209	244	278	308	277	326	370	412	465	531	596	625
	5.80	117	142	166	187	196	229	261	289	260	306	348	387	438	500	561	589
	6.00	110	133	156	176	185	215	245	272	245	288	327	364	413	471	529	555

① ② ①

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$，按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_x = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_x = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_x = 250$ 时的界线。

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L140×90×				2L160×100×				2L180×110×				2L200×125×			
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18
		面积 A (cm^2)															
		36.08	44.52	52.8	60.91	50.63	60.11	69.42	78.56	56.75	67.42	77.93	88.28	75.82	87.73	99.48	111.05
	2.00	603	807	1000	1185	879	1106	1322	1530	937	1199	1448	1687	1298	1586	1862	2030
	2.10	602	807	999	1184	879	1105	1321	1530	937	1199	1447	1687	1297	1585	1861	2029
	2.20	602	806	999	1183	879	1105	1320	1529	936	1198	1447	1686	1297	1585	1861	2029
	2.30	601	806	998	1183	878	1104	1320	1528	936	1198	1446	1686	1297	1584	1860	2028
	2.40	601	805	997	1182	878	1104	1319	1527	936	1198	1446	1685	1296	1584	1860	2027
	2.50	600	804	997	1193	877	1103	1318	1526	935	1197	1445	1684	1296	1583	1859	2027
	2.60	600	804	996	1185	877	1102	1318	1525	935	1196	1444	1683	1295	1583	1858	2026
	2.70	600	803	995	1178	876	1102	1317	1525	934	1196	1444	1683	1295	1582	1858	2025
	2.80	599	803	994	1170	876	1101	1316	1524	934	1195	1443	1682	1294	1581	1857	2024
	2.90	599	802	993	1162	875	1100	1315	1537	933	1195	1442	1681	1294	1581	1856	2024
	3.00	598	801	999	1154	874	1100	1314	1529	933	1194	1442	1680	1293	1580	1855	2023
	3.10	597	801	992	1146	874	1099	1313	1521	932	1193	1441	1679	1293	1580	1854	2022
	3.20	597	800	985	1138	873	1098	1312	1512	932	1193	1440	1678	1292	1579	1854	2021
L140×90，a=8mm L160×100～L200～125，a=10mm	3.30	596	799	977	1129	873	1097	1327	1503	931	1192	1439	1677	1291	1578	1853	2020
	3.40	596	798	970	1121	872	1097	1319	1495	931	1191	1438	1676	1291	1577	1852	2019
	3.50	595	810	962	1112	871	1096	1311	1486	930	1191	1438	1675	1290	1577	1851	2018
	3.60	594	803	954	1103	871	1095	1303	1476	929	1190	1437	1674	1289	1576	1850	2017
	3.70	594	796	946	1093	870	1094	1295	1467	929	1189	1436	1689	1289	1575	1849	2016
	3.80	593	789	938	1084	869	1093	1286	1458	928	1188	1435	1680	1288	1574	1848	2015
	3.90	592	782	929	1074	868	1105	1278	1448	927	1188	1434	1671	1287	1573	1847	2013
	4.00	592	774	920	1064	867	1097	1269	1438	927	1187	1433	1662	1286	1572	1846	2033
	4.20	590	759	902	1044	866	1081	1251	1418	925	1185	1449	1643	1285	1570	1844	2014
	4.40	600	743	884	1022	864	1065	1232	1397	924	1183	1431	1623	1283	1568	1841	1994
	4.60	586	726	864	1000	880	1048	1212	1375	922	1181	1413	1603	1282	1566	1852	1974
	4.80	572	709	844	977	865	1030	1192	1352	921	1179	1395	1582	1280	1564	1833	1953

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L140×90×				2L160×100×				2L180×110×				2L200×125×			
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18
		面积 A (cm^2)															
		36.08	44.52	52.8	60.91	50.63	60.11	69.42	78.56	56.75	67.42	77.93	88.28	75.82	87.73	99.48	111.05
	5.00	558	691	823	953	849	1012	1171	1328	919	1188	1376	1561	1278	1562	1812	1931
	5.20	543	673	802	929	833	992	1149	1304	917	1171	1356	1539	1276	1577	1791	1909
	5.40	527	655	780	904	816	973	1127	1279	915	1153	1335	1516	1274	1558	1769	1886
	5.60	512	636	758	878	799	953	1103	1253	913	1135	1314	1492	1272	1538	1747	1862
	5.80	496	617	735	853	781	932	1080	1226	936	1116	1292	1467	1270	1517	1723	1837
	6.00	481	597	713	827	763	910	1055	1199	920	1096	1270	1442	1291	1496	1699	1812
	6.20	465	578	690	801	745	889	1031	1171	902	1076	1247	1416	1272	1474	1675	1786
	6.40	450	559	668	775	726	867	1005	1142	885	1055	1223	1390	1252	1452	1650	1759
	6.60	434	540	645	749	707	845	980	1114	867	1034	1199	1362	1232	1429	1624	1732
	6.80	419	522	623	724	688	822	954	1085	849	1013	1174	1335	1211	1405	1597	1704
	7.00	405	504	602	700	669	800	928	1056	830	991	1149	1307	1190	1381	1570	1675
	7.20	390	486	581	676	651	778	903	1027	812	969	1124	1278	1169	1356	1542	1646
	7.40	376	469	561	652	632	755	877	998	793	946	1098	1249	1147	1331	1514	1616
	7.60	363	453	541	629	613	733	852	970	774	924	1073	1220	1125	1305	1485	1585
	7.80	350	437	522	607	595	712	827	942	755	902	1047	1191	1102	1280	1456	1555
	8.00	338	421	504	586	577	691	803	914	736	879	1021	1162	1080	1254	1426	1523

L140×90，
a = 8mm
L160×100～L200×125，
a = 10mm

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_y = \dfrac{l_{oy}}{i_y}$，按公式（3-53）求出 λ_{yz}，再按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

3. 本表 19-10 的构件平面外承载力 N_{yz}，有时会出现 l_{oy}越大，N_{yz}反而大的不合理情况，这是公式（3-53a）和公式（3-53b），在交界时出现台阶而致，选用者可取用其邻近的较小值。

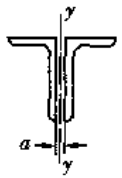
7）Q235 钢　两个热轧不等边角钢（两长边相连）轴心受压稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-11

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L56×36×		2L63×40×				2L70×45×				2L75×50×				2L80×50×			
		4	5	4	5	6	7	4	5	6	7	5	6	8	10	5	6	7	8
		面积 A (cm^2)																	
		7.18	8.83	8.12	9.99	11.82	13.6	9.11	11.22	13.29	15.31	12.25	14.52	18.93	23.18	12.75	15.12	17.45	19.73
	1.00	128	157	150	184	217	249	172	212	251	288	235	278	362	442	247.5	293	338	382
	1.10	123	151	146	179	211	242	169	207	245	282	230	273	354	433	243.3	288	332	375
	1.20	119	145	141	173	205	235	165	202	239	275	225	267	347	423	238.8	283	326	368
	1.30	113	139	137	168	198	226	160	197	233	267	220	261	338	413	234.0	277	319	360
	1.40	108	132	132	161	190	218	156	191	226	259	215	254	329	402	229.0	271	312	352
	1.50	102	125	127	155	182	208	151	185	219	251	209	247	320	390	223.6	264	305	344
	1.60	96.5	117	121	148	174	199	146	179	211	242	202	240	310	378	218.0	258	297	334
	1.70	90.8	110	115	141	166	189	140	172	203	232	196	232	300	365	212.0	250	288	325
	1.80	85.1	103	109	133	157	179	135	165	194	222	189	224	289	352	205.7	243	280	315
	1.90	79.7	96.6	104	126	149	169	129	158	186	212	182	215	278	338	199.2	235	271	304
	2.00	74.5	90.2	98.0	119	140	159	123	150	177	202	175	206	266	323	192.4	227	261	294
	2.10	69.6	84.3	92.5	112	132	150	117	143	169	192	167	198	255	309	185.4	219	251	282
	2.20	65.1	78.7	87.2	106	124	141	112	136	160	183	160	189	243	295	178.3	210	242	271
	2.30	60.9	73.6	82.1	99.7	117	133	106	129	152	173	153	180	231	281	171.2	201	232	260
	2.40	57.0	68.9	77.4	93.8	110	125	100	122	144	164	145	172	220	267	164.1	193	222	249
	2.50	53.4	64.5	72.9	88.3	104	118	95.2	116	136	155	138	163	209	254	157.0	185	212	238
	2.60	50.1	60.5	68.7	83.2	97.7	111	90.3	110	129	147	132	155	199	241	150.1	176	203	227
	2.70	47.1	56.8	64.8	78.5	92.1	104	85.6	104	122	139	125	148	189	229	143.3	168	193	216
	2.80	44.3	53.4	61.1	74.0	86.9	98.4	81.1	98.6	116	132	119	140	180	217	136.8	161	184	206
	2.90	41.7	50.3	57.8	69.9	82.1	92.8	76.9	93.4	110	125	113	133	171	206	130.5	153	176	197
	3.00	39.3	47.4	54.6	66.1	77.6	87.7	73.0	88.6	104	118	108	127	162	196	124.6	146	168	187
	3.10	37.1	44.8	51.7	62.6	73.4	83.0	69.3	84.1	98.9	112	102	121	154	186	118.8	139	160	179
	3.20	35.1	42.3	49.0	59.3	69.5	78.6	65.8	79.9	93.9	107	97.5	115	147	177	113.4	133	152	170
	3.30	33.3	40.1	46.5	56.2	65.9	74.6	62.6	75.9	89.3	101	92.8	109	140	169	108.3	127	146	163
	3.40	31.5	38.0	44.1	53.4	62.6	70.8	59.5	72.2	84.9	96.4	88.5	104	133	161	103.4	121	139	155
	3.50	29.9	36.1	42.0	50.7	59.5	67.3	56.7	68.8	80.9	91.7	84.4	99.3	127	153	98.8	116	133	148
	3.60	28.4	34.3	39.9	48.3	56.6	64.0	54.1	65.6	77.1	87.4	80.5	94.8	121	146	94.4	111	127	142
	3.70	27.1	32.6	38.0	46.0	53.9	60.9	51.6	62.5	73.5	83.4	76.9	90.5	115	139	90.3	106	121	135 ①
	3.80	25.8	31.1	36.3	43.8	51.4	58.1	49.2	59.7	70.2	79.6	73.5	86.5	110	133	86.4	101	116	129
	3.90	24.6	29.6	34.6	41.8	49.1	55.4	47.1	57.1	67.0	76.0	70.3	82.7	105	127	82.8	96.9	111	124
	4.00	23.5	28.3	33.1	40.0	46.9	52.9	45.0	54.6	64.1	72.7	67.3	79.1	101	122	79.3	92.8	106	119
	4.20	21.4	25.8	30.3	36.6	42.9	48.4	41.3	50.0	58.8	66.6	61.8	72.7	92.6	112	73.0	85.4	97.8	109
	4.40	19.7	23.7	27.8	33.6	39.4	44.5	38.0	46.0	54.1	61.3	56.9	66.9	85.3	103	67.3	78.7	90.2	101
	4.60			25.6	30.9	36.3	41.0	35.0	42.4	49.9	56.5	52.5	61.8	78.8	95.0	62.2	72.8	83.4	93.0
	4.80			23.7	28.6	33.5	37.9	32.4	39.3	46.1	52.3	48.6	57.2	72.9	87.9	57.7	67.5	77.3	86.2
	5.00			21.9				30.1	36.4	42.8	48.5	45.2	53.1	67.7	81.6	53.6	62.7	71.9	80.1
				③	③		③								②				

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L56×36×		2L63×40×				2L70×45×				2L75×50×				2L80×50×			
		4	5	4	5	6	7	4	5	6	7	5	6	8	10	5	6	7	8
		面积 A (cm^2)																	
		7.18	8.83	8.12	9.99	11.82	13.6	9.11	11.22	13.29	15.31	12.25	14.52	18.93	23.18	12.75	15.12	17.45	19.73
	0.75	125	159	140	180	218	253	153	201	246	288	216	267	362	450	224.7	278	329	376
	0.80	123	156	138	178	215	250	152	199	244	285	215	265	359	446	223.4	276	326	373
	0.85	121	153	138	175	212	246	151	198	241	281	213	263	356	442	222.1	274	323	369
	0.90	119	150	135	172	208	243	150	196	238	278	212	262	352	437	220.6	272	319	365
	0.95	116	147	133	169	205	239	148	193	234	274	210	260	348	433	219.0	269	316	361
	1.00	113	144	130	166	201	234	147	190	231	270	209	257	344	428	217.3	265	312	357
	1.10	107	137	125	159	193	225	143	184	224	262	205	250	336	418	211.1	258	304	348
	1.20	101	130	119	152	185	216	137	177	216	253	199	243	327	407	204.7	251	295	338
	1.30	95.1	122	113	144	176	206	132	170	207	243	192	235	317	395	197.8	242	285	327
	1.40	88.8	114	106	136	166	195	126	163	198	233	186	227	306	383	190.4	234	275	316
	1.50	82.7	106	100	128	157	184	119	155	189	222	178	218	295	370	182.6	224	265	304
	1.60	76.8	98.7	93.6	120	147	173	113	147	179	211	171	209	284	355	174.6	214	253	291
	1.70	71.2	91.6	87.5	112	138	162	107	139	169	199	163	200	271	341	166.4	205	242	278
	1.80	66.0	85.0	81.7	105	129	151	101	131	160	188	155	191	259	326	158.2	195	230	265
	1.90	61.2	78.8	76.3	97.8	120	141	95.1	123	150	177	148	181	247	311	150.1	185	219	252
	2.00	56.8	73.1	71.2	91.2	112	132	89.5	116	141	167	140	172	234	296	142.1	175	207	239
	2.10	52.7	67.9	66.4	85.1	105	123	84.2	109	133	157	133	163	222	281	134.5	165	196	226
	2.20	49.0	63.1	62.1	79.4	97.6	115	79.2	102	125	147	125	154	210	266	127.1	156	185	214
	2.30	45.7	58.8	58.1	74.2	91.3	108	74.5	95.9	117	138	119	146	199	252	120.1	148	175	202
	2.40	42.6	54.8	54.4	69.4	85.4	101	70.1	90.2	110	130	112	138	188	239	113.5	139	165	191
	2.50	39.8	51.2	51.0	65.0	80.0	94.3	66.0	84.8	104	122	106	130	178	226	107.3	132	156	180
	2.60	37.3	47.9	47.8	61.0	75.0	88.5	62.2	79.9	97.5	115	100	123	168	214	101.4	124	147	170
	2.70	35.0	44.9	45.0	57.3	70.5	83.1	58.7	75.3	91.9	109	95.1	117	159	202	96.0	118	139	161
	2.80	32.8	42.2	42.3	53.9	66.3	78.1	55.5	71.1	86.7	102	90.1	110	151	191	90.8	111	132	152
	2.90	30.9	39.7	39.9	50.8	62.4	73.6	52.4	67.1	81.9	96.6	85.4	104	143	181	86.1	105	125	144
	3.00	29.1	37.4	37.7	47.9	58.9	69.4	49.6	63.5	77.4	91.3	81.0	99.1	135	172	81.6	100	118	137
	3.10	27.5	35.3	35.6	45.3	55.6	65.6	47.0	60.1	73.2	86.4	76.9	94.0	128	163	77.4	94.7	112	130
	3.20	26.0	33.3	33.7	42.8	52.6	62.0	44.6	57.0	69.4	81.9	73.1	89.3	122	155	73.6	89.9	106	123 ①
	3.30	24.6	31.5	31.9	40.5	49.8	58.7	42.4	54.0	65.8	77.7	69.5	84.9	116	147	69.9	85.5	101	117
	3.40	23.3	29.9	30.3	38.4	47.2	55.7	40.3	51.3	62.5	73.7	66.2	80.8	110	140	66.6	81.3	96.1	111
	3.50	22.1	28.3	28.8	36.5	44.8	52.9	38.3	48.8	59.4	70.1	63.1	76.9	105	133	63.4	77.4	91.5	106
	3.60	21.0	26.9	27.4	34.7	42.6	50.2	36.5	46.5	56.5	66.7	60.1	73.3	100	127	60.4	73.8	87.2	101
	3.70	20.0	25.6	26.0	33.0	40.6	47.8	34.8	44.3	53.9	63.5	57.4	69.9	95.3	121	57.7	70.4	83.2	96.0
	3.80	19.0	24.4	24.8	31.5	38.6	45.5	33.2	42.2	51.4	60.6	54.8	66.8	91.0	116	55.1	67.2	79.4	91.7
	3.90		23.2	23.7	30.0	36.8	43.4	31.7	40.3	49.0	57.8	52.4	63.8	86.9	111	52.7	64.2	75.8	87.6
	4.00			22.6	28.7	35.2	41.4	30.3	38.5	46.8	55.2	50.2	61.1	83.1	106	50.4	61.4	72.5	83.7
	4.20				26.2	32.1	37.9	27.8	35.3	42.9	50.5	46.0	56.0	76.2	97	46.2	56.3	66.5	76.7 ②
	4.40							25.6	32.4	39.4	46.4	42.4	51.5	70.1	89	42.6	51.8	61.1	70.6
	4.60							23.6	29.9	36.3	42.8	39.1	47.6	64.7	82	39.3	47.8	56.4	65.1
	4.80											36.2	44.0	59.9	76	36.4	44.2	52.2	60.2
	5.00										③	33.7	40.9	55.5	71	33.8	41.0	48.4	55.9



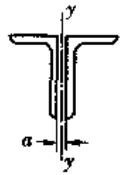
L56×36～L80×50，
a=6mm

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L90×56×				2L100×63×				2L100×80×				2L110×70×				2L125×80×			
		5	6	7	8	6	7	8	10	6	7	8	10	6	7	8	10	7	8	10	12
		面积 A (cm^2)																			
		14.42	17.11	19.76	22.37	19.25	22.22	25.17	30.93	21.27	24.6	27.89	34.33	21.27	24.6	27.89	34.33	28.19	31.98	39.42	46.7
	1.50	263	311	359	406	360	416	470	577	397	459	520	638	407	470	532.3	654	551	625	769	910
	1.60	258	305	352	398	354	409	463	567	391	451	511	628	401	464	525.1	645	545	618	761	900
	1.70	253	299	345	389	348	402	455	557	384	444	502	616	396	457	517.7	636	539	611	752	890
	1.80	247	292	337	380	342	395	446	547	377	435	493	605	390	451	510.0	626	533	604	744	879
	1.90	241	285	328	371	336	387	438	536	369	427	483	592	384	443	501.9	616	526	597	734	868
	2.00	235	277	320	361	329	379	428	524	362	418	473	579	377	436	493.4	606	520	589	725	857
	2.10	228	270	311	350	321	371	419	512	353	408	462	566	371	428	485	595	513	581	715	845
	2.20	222	262	301	340	314	362	409	500	345	398	451	552	364	420	475	583	506	573	705	833
	2.30	215	253	292	329	306	353	399	487	336	388	439	537	357	412	466	571	498	564	694	820
	2.40	208	245	282	317	298	344	388	474	327	378	427	522	349	403	456	559	490	556	683	807
	2.50	200	236	272	306	290	334	377	460	318	367	415	507	342	394	446	546	482	546	671	793
	2.60	193	228	262	295	282	325	366	446	308	356	402	491	334	385	435	533	474	537	659	778
	2.70	186	219	252	284	273	315	355	432	299	345	390	476	326	376	424	519	465	527	647	764
	2.80	179	211	243	272	264	305	343	418	289	333	377	460	317	366	413	505	456	517	635	748
	2.90	172	203	233	261	256	295	332	404	279	322	364	444	309	356	402	491	447	507	622	733
	3.00	165	194	224	251	247	285	320	390	270	311	351	428	300	346	391	477	438	496	608	717
	3.10	159	187	214	241	239	275	309	376	260	300	339	413	291	336	379	463	428	485	595	700
	3.20	152	179	206	231	230	265	298	362	251	289	327	397	283	326	368	449	418	474	581	684
	3.30	146	172	197	221	222	256	287	349	242	279	315	383	274	316	356	435	408	462	567	667
	3.40	140	164	189	212	214	246	277	336	233	268	303	368	266	306	345	421	398	451	552	650
	3.50	134	158	181	203	206	237	266	323	224	258	292	354	257	296	334	407	388	440	538	633
	3.60	129	151	174	195	199	228	257	311	216	249	281	341	249	287	323	393	378	428	524	616
	3.70	124	145	167	187	191	220	247	300	208	239	270	328	241	277	312	380	368	417	510	599
	3.80	119	139	160	179	184	212	238	288	200	230	260	315	233	268	302	367	358	405	495	582
	3.90	114	134	154	172	177	204	229	277	193	222	250	304	225	259	292	355	348	394	481	565
	4.00	109	128	148	165	171	196	220	267	185	213	241	292	217	250	282	343	338	383	468	549
	4.20	101	119	136	152	159	182	205	248	172	198	223	271	203	234	263	320	319	361	441	517
	4.40	93.6	110	126	141	147	170	190	230	160	184	207	251	190	218	246	298	301	340	415	487
	4.60	86.8	102	117	113	137	158	177	214	149	171	193	234	177	204	229	279	283	320	390	458
	4.80	80.7	94.6	109	121	128	147	165	199	139	159	180	218	166	191	215	261	267	301	368	431
	5.00	75.2	88.1	101	113	119	137	154	186	129	149	168	203	155	179	201	244	251	284	346	405
	5.20	70.2	82.2	94.4	106	112	128	144	174	121	139	157	190	146	168	188	229	237	267	326	382
	5.40	65.6	76.9	88.3	98.7	105	120	135	163	113	130	147	178	137	158	177	215	223	252	307	360
	5.60	61.5	72.0	82.7	92.4	98.2	113	126	153	106	122	138	167	129	148	166	202	211	238	290	339
	5.80	57.7	67.6	77.6	86.7	92.3	106	119	144	100	115	129	157	121	139	157	190	199	225	274	320
	6.00	54.3	63.6	73.0	81.5	86.9	100	112	135	94	108	122	147	114	131	148	179	188	213	259	303
					②												①				

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2L90×56×				2L100×63×				2L100×80×				2L110×70×				2L125×80×			
		5	6	7	8	6	7	8	10	6	7	8	10	6	7	8	10	7	8	10	12
		面积 A (cm^2)																			
		14.42	17.11	19.76	22.37	19.23	22.22	25.17	30.93	21.27	24.6	27.89	34.33	21.27	24.6	27.89	34.33	28.19	31.98	39.42	46.7
	1.00	241	302	356	409	332	400	465	582	339	420	498	643	358	435	510	651	482	571	739	899
	1.10	238	295	349	401	329	396	456	573	337	418	495	640	355	432	505	644	479	567	734	893
	1.20	234	288	340	391	326	387	447	563	335	415	492	635	352	428	501	635	476	564	729	884
	1.30	230	280	331	381	321	379	438	551	333	412	488	630	348	424	494	625	473	560	724	874
	1.40	220	272	322	371	311	371	428	539	330	409	484	633	345	419	486	615	469	555	714	862
	1.50	212	263	312	359	303	361	418	527	327	406	480	625	340	411	477	604	465	550	704	850
	1.60	205	254	301	347	294	351	407	513	324	402	475	617	336	402	467	592	460	545	693	838
	1.70	197	244	290	334	286	341	395	499	321	398	478	608	331	393	457	579	456	533	682	824
	1.80	189	234	278	321	276	330	383	484	317	393	471	598	319	384	446	566	450	523	670	810
	1.90	181	224	266	308	267	319	370	468	313	388	463	588	311	374	435	552	445	513	657	795
	2.00	173	214	254	294	257	307	357	452	309	389	454	578	302	363	423	537	428	502	643	779
	2.10	165	204	243	281	247	296	343	436	305	382	445	567	293	353	410	522	418	491	629	763
	2.20	157	194	231	267	237	284	330	419	301	374	436	556	284	342	398	506	408	479	615	746
	2.30	149	185	220	254	228	272	316	402	302	365	427	544	275	330	385	490	398	467	600	728
	2.40	142	176	209	242	218	261	303	386	295	357	417	532	265	319	372	474	387	454	584	709
	2.50	135	167	198	230	209	249	290	369	288	348	407	519	256	308	359	458	376	442	568	691
	2.60	128	158	188	218	199	238	277	353	281	339	396	506	247	296	346	441	365	429	552	671
	2.70	122	150	179	207	191	228	265	338	273	330	385	493	237	285	333	425	354	416	535	652
	2.80	116	143	170	197	182	218	253	322	266	321	375	479	228	275	320	409	343	403	519	632
	2.90	110	136	161	187	174	208	241	308	258	312	364	466	220	264	307	393	332	390	502	612
	3.00	105	129	153	178	166	198	230	294	251	302	353	452	211	254	295	378	321	377	486	593
	3.10	99.9	123	146	169	159	190	220	281	243	293	343	439	203	244	284	363	311	364	470	573
	3.20	95.2	117	139	161	152	181	210	268	236	284	332	425	195	234	272	348	300	352	454	554
	3.30	90.8	112	132	153	145	173	201	256	229	275	321	412	187	225	261	335	290	340	438	535
	3.40	86.6	106	126	146	139	166	192	245	222	266	311	398	180	216	251	321	280	328	423	516
	3.50	82.7	101	120	139	133	158	184	234	215	258	301	386	173	207	241	308	270	317	408	498
	3.60	79.0	96.9	115	133	127	152	176	224	208	249	291	373	166	199	232	296	261	306	394	481
	3.70	75.6	92.6	110	127	122	145	168	215	201	241	281	361	160	191	222	284	252	295	380	464
	3.80	72.3	88.5	105	121	117	139	161	206	195	233	272	349	154	184	214	273	243	285	366	447
	3.90	69.3	84.7	100	116	112	133	154	197	189	226	263	337	148	177	205	263	235	275	353	432
	4.00	66.4	81.2	96.1	111	108	128	148	189	183	218	254	326	143	170	198	252	227	265	341	416
	4.20	61.1	74.6	88.3	102	99.4	118	137	174	171	204	238	304	132	158	183	234	212	247	317	388
	4.40	56.4	68.8	81.3	94.0	92.0	109	126	161	160	191	222	284	123	146	170	217	198	230	296	361
	4.60	52.2	63.6	75.2	86.9	85.3	101	117	149	150	179	208	266	114	136	158	201	185	215	276	337
	4.80	48.4	59.0	69.7	80.5	79.3	93.8	108	138	141	168	195	249	107	127	147	187	173	201	258	315
	5.00	45.0	54.8	64.7	74.7	73.8	87.3	101	129	133	158	183	234	100	118	137	175	162	189	241	295
	5.20	41.9	51.1	60.3	69.6	68.9	81.5	94.1	120	125	148	127	219	93.3	111	128	163	152	177	226	276
	5.40	39.2	47.7	56.2	64.9	64.4	76.2	88.0	112	118	140	162	206	87.5	104	120	153	143	166	212	259
	5.60		44.6	52.6	60.7	60.4	71.3	82.4	105	111	131	152	194	82.2	97.3	113	143	135	156	200	243
	5.80					56.7	66.9	77.3	98.3	105	124	144	183	77.3	91.5	106	135	127	147	188	229
	6.00					53.3	62.9	72.7	92.4	99	117	136	173	72.8	86.2	100	127	120	139	177	216



L90×56～L100×63
a=6mm
L100×80～L125×80
a=8mm

① ② ② ② ②

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2L140×90×				2L160×100×				2L180×110×				2L200×125×			
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18
		面积 A (cm^2)															
		36.08	44.52	52.8	60.91	50.63	60.11	69.42	78.56	56.75	67.42	77.93	88.28	75.82	87.73	99.48	111.05
	2.00	683	842	997	1149	983	1166	1345	1521	1122	1333	1539	1742	1520	1757	1992	2119
	2.10	676	833	986	1136	975	1156	1333	1507	1115	1323	1528	1730	1511	1747	1979	2106
	2.20	668	823	974	1123	966	1146	1321	1494	1107	1314	1517	1717	1501	1736	1967	2092
	2.30	660	813	963	1109	957	1135	1309	1479	1098	1304	1506	1704	1492	1725	1955	2079
	2.40	652	803	951	1095	948	1124	1296	1465	1090	1294	1494	1691	1482	1714	1942	2065
	2.50	644	793	938	1080	939	1113	1283	1450	1082	1284	1482	1677	1472	1702	1929	2051
	2.60	635	782	925	1065	929	1101	1270	1435	1073	1273	1470	1663	1463	1691	1916	2037
	2.70	626	771	912	1050	919	1090	1256	1419	1064	1262	1457	1649	1452	1679	1902	2023
	2.80	617	759	898	1034	909	1077	1242	1403	1055	1251	1445	1634	1442	1667	1888	2008
	2.90	607	747	883	1017	899	1065	1227	1386	1045	1240	1431	1619	1431	1655	1874	1993
	3.00	598	735	869	1000	888	1052	1212	1369	1036	1229	1418	1604	1421	1642	1860	1977
	3.10	588	722	854	982	877	1039	1197	1351	1026	1217	1404	1588	1410	1629	1845	1962
	3.20	577	709	838	964	866	1025	1181	1333	1016	1204	1390	1572	1398	1616	1830	1945
	3.30	567	696	822	946	854	1011	1164	1314	1005	1192	1375	1555	1387	1602	1815	1929
	3.40	556	683	806	927	842	997	1148	1295	994	1179	1360	1538	1375	1589	1799	1912
	3.50	545	669	789	908	830	982	1130	1275	983	1166	1345	1520	1363	1574	1783	1894
	3.60	534	655	773	888	817	967	1113	1255	972	1152	1329	1502	1350	1560	1766	1877
	3.70	522	641	756	869	804	951	1095	1234	961	1139	1313	1484	1337	1545	1749	1858
	3.80	511	627	739	849	791	936	1076	1213	949	1124	1296	1465	1324	1530	1732	1840
	3.90	499	612	722	829	778	920	1058	1192	937	1110	1280	1446	1311	1514	1714	1821
	4.00	488	598	704	809	764	903	1039	1170	924	1095	1262	1426	1298	1498	1696	1801
	4.20	465	569	670	769	736	870	1000	1126	899	1065	1227	1385	1269	1466	1658	1761
	4.40	442	541	637	731	708	836	961	1082	873	1033	1190	1343	1240	1431	1619	1719
	4.60	419	513	604	693	680	803	922	1037	846	1001	1152	1300	1210	1396	1579	1675
	4.80	398	487	572	656	651	769	882	992	818	968	1114	1256	1178	1359	1537	1630
	5.00	377	461	542	622	623	735	844	948	790	934	1075	1212	1146	1322	1494	1584
	5.20	358	437	513	588	596	703	806	905	762	901	1036	1167	1113	1283	1450	1537
	5.40	339	414	486	557	569	671	769	864	734	867	997	1123	1080	1244	1405	1490
	5.60	321	392	461	528	543	640	733	824	706	834	958	1079	1046	1205	1360	1442
	5.80	305	372	437	500	518	611	699	785	678	801	920	1036	1012	1165	1315	1394
	6.00	289	353	414	474	495	582	667	748	652	769	883	994	978	1126	1271	1346
	6.20	274	335	393	450	472	555	636	714	625	738	848	954	944	1087	1226	1298
	6.40	261	318	373	427	450	530	607	680	600	708	813	914	911	1049	1183	1252
	6.60	248	302	355	406	430	506	579	649	576	679	779	877	879	1011	1140	1206
	6.80	236	288	337	386	410	483	553	620	552	651	747	840	847	974	1098	1162
	7.00	225	274	321	368	392	461	528	592	530	625	717	806	816	939	1058	1119

① ② ③

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

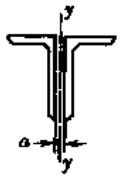
$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$，按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_x = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_x = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_x = 250$ 时的界线。

续表

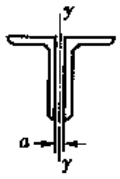
对应轴简图	计算长度 l_w (m)	2L140×90×				2L160×100×				2L180×110×				2L200×125×			
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18
		面积 A (cm^2)															
		36.08	44.52	52.8	60.91	50.63	60.11	69.42	78.56	56.75	67.42	77.93	88.28	75.82	87.73	99.48	111.05
	1.50	607	797	970	1135	892	1104	1303	1493	978	1223	1457	1683	1340	1613	1876	2032
	1.60	602	791	958	1122	887	1098	1291	1479	974	1217	1450	1665	1335	1607	1869	2025
	1.70	598	777	946	1107	882	1091	1278	1464	969	1211	1442	1651	1330	1601	1862	2016
	1.80	593	767	933	1092	876	1074	1264	1448	964	1205	1434	1636	1325	1595	1854	2007
	1.90	587	755	919	1076	870	1061	1249	1431	958	1198	1409	1620	1319	1588	1846	1982
	2.00	581	743	905	1060	863	1048	1234	1414	952	1190	1395	1603	1313	1580	1837	1967
	2.10	575	730	889	1042	844	1034	1217	1396	946	1182	1379	1585	1307	1573	1808	1950
	2.20	553	717	874	1024	832	1019	1200	1377	939	1151	1363	1567	1300	1564	1792	1933
	2.30	542	703	857	1005	819	1004	1183	1357	932	1137	1346	1548	1293	1555	1775	1915
	2.40	531	688	840	985	806	988	1164	1336	925	1122	1328	1528	1285	1520	1757	1896
	2.50	519	673	822	965	792	971	1145	1315	917	1106	1310	1507	1277	1504	1739	1877
	2.60	507	658	804	944	778	954	1125	1292	880	1089	1291	1485	1269	1487	1720	1856
	2.70	495	642	785	922	763	936	1105	1269	867	1072	1271	1463	1260	1470	1700	1835
	2.80	483	626	766	900	748	918	1084	1246	852	1054	1251	1440	1215	1452	1679	1814
	2.90	470	610	746	878	732	899	1062	1221	837	1036	1229	1416	1199	1433	1658	1791
	3.00	457	593	726	855	716	879	1040	1196	822	1018	1208	1391	1183	1414	1636	1768
	3.10	445	577	707	832	700	860	1017	1171	806	998	1185	1366	1166	1394	1614	1744
	3.20	432	560	687	809	684	840	994	1145	790	979	1163	1340	1149	1374	1590	1719
	3.30	420	544	667	785	667	820	971	1119	774	959	1140	1314	1131	1353	1566	1694
	3.40	407	528	647	762	651	800	947	1092	758	939	1116	1287	1112	1331	1542	1668
	3.50	395	512	628	740	634	780	924	1066	741	918	1092	1260	1094	1309	1517	1641
	3.60	383	496	608	717	618	759	900	1039	725	898	1068	1233	1075	1287	1491	1614



L140×90，
a = 8mm；
L160×100～L200×125
a = 10mm

续表

对应轴简图	计算长度 l_{0y} (m)	2∟140×90×				2∟160×100×				2∟180×110×				2∟200×125×			
		8	10	12	14	10	12	14	16	10	12	14	16	12	14	16	18
		面积 A (cm^2)															
		36.08	44.52	52.8	60.91	50.63	60.11	69.42	78.56	56.75	67.42	77.93	88.28	75.82	87.73	99.48	111.05
	3.70	371	481	590	695	602	739	877	1012	708	877	1044	1205	1056	1264	1465	1587
	3.80	360	466	571	673	585	719	853	985	692	857	1020	1178	1036	1241	1439	1558
	3.90	349	451	553	652	569	700	830	959	675	836	996	1150	1017	1218	1412	1530
	4.00	338	437	536	632	554	680	807	933	659	816	972	1122	997	1194	1385	1501
	4.20	317	409	502	592	523	643	763	882	627	776	924	1068	957	1147	1331	1443
	4.40	298	384	471	555	494	607	720	833	596	737	877	1014	918	1100	1276	1385
	4.60	280	360	441	521	467	573	680	786	566	699	833	962	879	1053	1222	1326
	4.80	263	338	414	488	441	540	641	742	537	663	789	913	840	1007	1168	1269
	5.00	248	318	389	459	416	510	605	700	510	629	748	865	803	962	1116	1213
	5.20	233	299	366	431	393	482	571	661	484	596	709	820	767	918	1066	1158
	5.40	220	282	344	406	372	455	540	625	459	565	673	777	732	877	1017	1105
	5.60	208	265	325	382	352	430	510	590	436	536	638	737	699	836	970	1054
	5.80	196	251	306	361	333	407	483	559	414	509	605	699	667	798	925	1006
	6.00	186	237	289	341	316	386	457	529	394	484	575	664	637	762	883	959
	6.20	176	224	274	322	300	366	433	501	375	460	546	631	609	727	842	915
	6.40	167	212	259	305	285	347	411	476	357	437	519	600	581	694	804	873
	6.60	158	201	246	289	271	330	391	452	340	416	494	570	556	663	768	834
	6.80	150	191	233	274	257	314	371	429	324	397	471	543	531	633	733	797
	7.00	143	182	222	261	245	298	353	409	309	378	449	518	508	606	701	761
													①				



∟140×90，
a = 8mm；
∟160×100 ~ ∟200×125
a = 10mm

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y}$，按公式（3-52）求出 λ_{yz}，再按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

8）Q235 钢　一个热轧普通工字钢轴心受压稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-12

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
		面积 A (cm^2)															
		14.33	18.1	21.5	26.11	30.74	35.55	39.55	42.1	46.5	48.51	53.51	55.37	60.97	67.12	73.52	79.92
	2.0	284	368	440	540	640	744	826	884	976	1024	1128	1173	1291	1427	1562	1697
	2.1	281	366	439	538	638	742	824	882	974	1022	1126	1171	1289	1425	1560	1695
	2.2	279	364	437	536	636	740	822	881	972	1020	1124	1169	1286	1423	1558	1692
	2.3	277	362	435	535	635	738	820	879	969	1018	1122	1167	1284	1421	1556	1690
	2.4	274	360	433	533	633	737	818	877	967	1016	1120	1165	1282	1419	1553	1687
	2.5	272	358	431	531	631	735	816	875	965	1014	1118	1163	1280	1417	1551	1685
	2.6	269	356	429	529	629	733	814	873	963	1013	1116	1161	1278	1415	1549	1682
	2.7	265	354	427	527	627	731	812	871	961	1011	1114	1160	1276	1413	1546	1680
	2.8	262	352	425	525	625	729	809	869	959	1009	1111	1158	1273	1411	1544	1677
	2.9	259	349	423	523	623	727	807	867	956	1007	1109	1156	1271	1409	1542	1675
	3.0	255	347	420	521	621	725	805	865	954	1005	1107	1154	1269	1407	1540	1672
	3.1	251	344	418	518	619	723	802	863	952	1003	1105	1152	1267	1405	1537	1670
	3.2	246	341	415	516	617	721	800	861	949	1001	1102	1150	1265	1403	1535	1667
	3.3	242	338	412	514	615	719	798	859	947	999	1100	1148	1262	1401	1533	1665
	3.4	237	335	410	511	612	717	795	857	944	997	1098	1146	1260	1399	1530	1662
	3.5	232	331	407	509	610	714	792	854	942	995	1095	1144	1258	1397	1528	1659
	3.6	227	328	403	506	607	712	790	852	939	992	1093	1142	1255	1395	1526	1657
	3.7	221	324	400	503	605	710	787	850	936	990	1090	1140	1253	1392	1523	1654
	3.8	216	320	397	500	602	707	784	847	933	988	1088	1138	1250	1390	1521	1651
	3.9	210	316	393	497	599	705	781	845	931	986	1085	1135	1248	1388	1518	1648
	4.0	204	312	389	494	597	702	778	842	928	983	1082	1133	1245	1386	1516	1646
	4.2	193	302	381	487	591	697	771	837	922	979	1077	1129	1240	1381	1511	1640
	4.4	182	292	372	479	584	691	765	832	915	974	1071	1124	1235	1377	1506	1634
	4.6	171	282	362	471	577	685	757	826	908	969	1065	1119	1229	1372	1500	1628
	4.8	160	271	351	462	570	678	749	820	901	963	1059	1114	1224	1367	1495	1622
	5.0	151	259	340	453	562	671	741	813	894	958	1052	1109	1218	1362	1489	1616
	5.2	142	248	328	442	553	663	732	806	885	952	1045	1104	1212	1357	1483	1609
	5.4	133	236	316	432	544	655	722	799	877	945	1038	1098	1205	1352	1477	1602
	5.6	125	225	304	420	534	647	712	791	868	939	1030	1092	1198	1346	1471	1595
	5.8	118	214	292	408	523	637	701	783	858	932	1022	1086	1191	1341	1464	1588
	6.0	111	204	279	395	511	628	689	774	847	925	1014	1080	1184	1335	1458	1580
	6.2	105	194	267	382	499	617	676	764	836	917	1005	1073	1176	1329	1451	1572
	6.4	99	184	256	369	487	606	663	754	824	909	995	1066	1168	1322	1443	1564
	6.6	94	175	244	356	474	594	649	744	812	900	985	1059	1159	1316	1436	1555
	6.8	89	167	234	343	461	582	634	732	798	891	974	1051	1150	1309	1428	1546
	7.0	84	159	223	330	447	569	619	721	784	881	963	1043	1141	1302	1420	1537

①

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	I10	I12.6	I14	I16	I18	I20a	I20b	I22a	I22b	I25a	I25b	I28a	I28b	I32a	I32b	I32c
		面积 A (cm^2)															
		14.33	18.1	21.5	26.11	30.74	35.55	39.55	42.1	46.5	48.51	53.51	55.37	60.97	67.12	73.52	79.92
	0.75	264	339	409	505	600	700	777	840	925	972	1069	1114	1223	1358	1484	1610
	0.85	255	328	398	493	587	686	761	825	908	956	1052	1096	1204	1338	1462	1586
	0.90	249	322	392	487	580	679	752	818	900	947	1042	1088	1194	1328	1451	1573
	0.95	244	316	385	480	573	671	744	810	891	939	1033	1078	1184	1318	1439	1561
	1.00	238	310	378	473	566	663	735	802	882	930	1023	1069	1173	1307	1427	1547
	1.1	226	296	364	458	550	647	716	786	863	912	1002	1050	1151	1285	1403	1520
	1.2	213	281	349	443	534	629	695	768	843	893	981	1029	1127	1262	1377	1491
	1.3	199	266	332	426	515	610	674	749	821	873	958	1007	1102	1238	1349	1460
	1.4	186	250	315	407	496	590	650	729	798	851	933	984	1076	1213	1320	1428
	1.5	172	233	297	388	476	569	626	708	774	828	907	960	1048	1185	1290	1394
	1.6	159	218	279	369	455	546	600	685	748	804	879	933	1018	1157	1257	1357
	1.7	147	202	262	349	433	523	573	661	720	778	850	906	987	1126	1223	1319
	1.8	136	188	245	329	411	499	546	637	692	751	819	877	954	1095	1186	1278
	1.9	125	174	228	310	388	474	518	611	663	723	787	847	920	1061	1149	1236
	2.0	116	162	213	291	367	450	491	585	634	694	755	816	885	1027	1110	1192
	2.1	107	150	199	273	346	427	464	559	604	665	722	785	849	991	1069	1148
	2.2	100	139	185	256	326	403	438	533	575	636	690	753	813	955	1028	1102
	2.3	92.4	130	173	240	307	381	413	507	546	607	658	721	777	918	987	1057
	2.4	86.0	121	162	225	289	360	390	482	519	579	626	689	741	881	946	1011
	2.5	80.2	113	151	212	272	340	368	458	492	551	595	658	707	844	905	967
	2.6	74.9	106	142	199	256	321	347	435	466	524	566	627	673	808	865	923
	2.7	70.1	99.0	133	187	241	303	328	413	442	499	538	598	641	773	826	881
	2.8	65.7	92.9	125	176	228	287	310	392	419	474	511	570	610	738	789	840
	2.9	61.7	87.4	118	166	215	271	293	372	398	451	485	543	581	705	753	801
	3.0	58.0	82.3	111	157	203	257	277	354	378	429	461	517	553	674	718	764
	3.1	54.7	77.6	105	148	193	243	262	336	359	408	439	493	526	643	685	728
	3.2	51.6	73.2	99.0	141	182	231	249	320	341	389	417	469	501	614	654	694
	3.3	48.8	69.3	93.7	133	173	219	236	304	324	370	397	448	477	587	624	662
	3.4	46.2	65.6	88.8	126	164	208	224	290	308	353	379	427	455	561	596	632
	3.5	43.8	62.2	84.3	120	156	198	213	276	294	336	361	408	434	536	569	604
	3.6	41.5	59.1	80.1	114	149	189	203	263	280	321	344	389	415	513	544	577
	3.7	39.5	56.2	76.1	109	142	180	194	251	267	307	329	372	396	490	521	552 ①
	3.8		53.4	72.5	103	135	172	185	240	255	293	314	356	379	470	498	528
	3.9		50.9	69.1	98.7	129	164	176	229	244	280	300	341	362	450	477	505
	4.0		48.6	66.0	94.3	123	157	168	219	233	268	287	326	347	431	457	484
	4.2			60.2	86.2	113	143	154	201	214	246	264	300	319	397	421	445
	4.4				79.1	103	132	142	185	197	227	243	276	294	366	388	410
	4.6				72.8	95.2	122	131	171	182	210	224	256	271	339	359	379
	4.8					88.0	112	121	158	168	194	208	237	251	314	333	352
	5.0					81.6	104	112	147	156	180	193	220	233	292	309	327
						③								②			

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
		面积 A (cm^2)																	
		76.44	83.64	90.84	86.07	94.07	102.07	102.4	111.4	120.4	119.25	129.25	139.25	135.38	146.58	157.78	154.59	167.19	179.79
	3.0	1600	1760	1910	1735	1894	2054	2071	2252	2432	2418	2620	2821	2751	2977	3204	3147	3402	3658
	3.1	1597	1757	1907	1733	1892	2051	2069	2249	2430	2416	2617	2819	2749	2976	3202	3145	3401	3656
	3.2	1595	1755	1905	1730	1890	2049	2067	2247	2427	2414	2615	2817	2747	2974	3200	3144	3399	3654
	3.3	1592	1753	1902	1728	1887	2046	2065	2245	2425	2412	2613	2814	2746	2972	3198	3142	3397	3652
	3.4	1590	1751	1900	1726	1885	2044	2063	2242	2422	2410	2611	2812	2744	2970	3195	3141	3395	3650
	3.5	1587	1748	1897	1724	1883	2042	2060	2239	2419	2408	2609	2809	2742	2968	3193	3139	3394	3648
	3.6	1585	1746	1894	1722	1881	2039	2058	2237	2416	2406	2606	2806	2740	2965	3191	3137	3392	3646
	3.7	1582	1744	1892	1720	1879	2037	2056	2235	2414	2404	2604	2804	2738	2963	3188	3135	3390	3644
	3.8	1580	1741	1889	1718	1876	2034	2054	2233	2411	2402	2601	2801	2736	2961	3186	3133	3387	3641
	3.9	1577	1739	1887	1716	1874	2032	2052	2230	2409	2399	2598	2798	2734	2959	3183	3132	3385	3639
	4.0	1574	1736	1884	1714	1872	2029	2050	2228	2406	2397	2596	2795	2732	2956	3180	3130	3383	3637
	4.2	1569	1731	1878	1710	1867	2024	2045	2223	2401	2392	2591	2790	2727	2951	3175	3126	3379	3632
	4.4	1563	1726	1873	1706	1863	2019	2041	2218	2396	2388	2586	2784	2723	2945	3169	3121	3374	3626
	4.6	1558	1721	1867	1702	1858	2014	2037	2214	2390	2383	2581	2779	2718	2941	3163	3117	3369	3621
	4.8	1552	1716	1861	1698	1853	2008	2032	2209	2385	2379	2576	2774	2713	2936	3158	3112	3364	3614
	5.0	1546	1711	1855	1693	1848	2003	2028	2204	2380	2375	2571	2768	2709	2931	3152	3107	3358	3609
	5.2	1539	1705	1849	1689	1843	1997	2023	2199	2374	2370	2566	2763	2704	2926	3147	3102	3353	3603
	5.4	1533	1700	1843	1684	1838	1992	2019	2194	2368	2365	2561	2757	2700	2921	3141	3098	3348	3598
	5.6	1526	1694	1836	1680	1833	1986	2014	2188	2362	2361	2556	2751	2695	2916	3136	3093	3343	3592
	5.8	1519	1688	1830	1675	1827	1980	2009	2183	2357	2356	2551	2745	2690	2910	3130	3089	3338	3587
	6.0	1512	1682	1823	1670	1822	1974	2005	2178	2351	2351	2545	2739	2686	2905	3125	3084	3333	3581
	6.2	1505	1676	1816	1665	1816	1967	2000	2172	2344	2346	2540	2733	2681	2900	3119	3079	3328	3576
	6.4	1497	1669	1808	1660	1810	1961	1995	2167	2338	2341	2534	2727	2676	2895	3113	3075	3322	3570
	6.6	1489	1662	1801	1655	1805	1954	1989	2161	2332	2336	2529	2721	2671	2889	3107	3070	3317	3564
	6.8	1480	1655	1793	1649	1798	1947	1984	2155	2325	2331	2523	2715	2666	2884	3101	3065	3312	3558
	7.0	1471	1648	1785	1644	1792	1940	1979	2149	2319	2326	2517	2708	2661	2878	3095	3060	3306	3552
	7.2	1462	1641	1776	1638	1786	1933	1973	2143	2312	2321	2511	2702	2656	2873	3089	3055	3301	3546
	7.4	1452	1633	1767	1632	1779	1926	1968	2136	2305	2315	2505	2695	2651	2867	3082	3050	3295	3540
	7.6	1442	1625	1758	1626	1772	1918	1962	2130	2298	2310	2499	2688	2646	2861	3076	3045	3290	3534
	7.8	1431	1617	1749	1620	1765	1910	1956	2123	2290	2304	2493	2681	2641	2855	3069	3040	3284	3528
	8.0	1420	1608	1739	1614	1758	1902	1950	2117	2283	2298	2487	2674	2635	2849	3063	3035	3278	3522
	8.2	1409	1599	1729	1607	1750	1893	1944	2110	2275	2293	2480	2667	2630	2843	3056	3030	3273	3515
	8.4	1396	1590	1718	1600	1743	1884	1938	2102	2267	2287	2473	2660	2624	2837	3049	3025	3267	3509
	8.6	1384	1580	1707	1593	1734	1875	1931	2095	2258	2281	2466	2652	2619	2830	3042	3019	3261	3502
	8.8	1371	1570	1696	1586	1726	1866	1925	2088	2250	2274	2459	2644	2613	2824	3035	3014	3255	3496
	9.0	1357	1559	1684	1579	1717	1856	1918	2080	2241	2268	2452	2636	2607	2817	3028	3008	3249	3489

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$、按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 表中构件 λ_x 均小于 150。

续表

对应轴简图	计算长度 l_{σ} (m)	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
		面积 A (cm^2)																	
		76.44	83.64	90.84	86.07	94.07	102.07	102.4	111.4	120.4	119.25	129.25	139.25	135.38	146.58	157.78	154.59	167.19	179.79
	1.0	1495	1631	1767	1612	1756	1901	1930	2094	2258	2266	2449	2633	2583	2790	2998	2965	3199	3433
	1.1	1471	1604	1737	1588	1729	1870	1902	2064	2224	2236	2417	2597	2551	2755	2959	2931	3160	3391
	1.2	1446	1576	1706	1562	1699	1838	1874	2032	2188	2206	2383	2559	2519	2719	2918	2895	3121	3348
	1.3	1420	1546	1672	1535	1669	1804	1844	1998	2151	2174	2347	2520	2484	2680	2876	2858	3080	3303
	1.4	1392	1515	1637	1507	1637	1768	1812	1963	2112	2141	2310	2479	2449	2641	2832	2820	3038	3256
	1.5	1362	1481	1600	1477	1603	1730	1779	1926	2070	2106	2271	2436	2412	2599	2786	2781	2993	3207
	1.6	1331	1446	1561	1445	1567	1690	1744	1887	2026	2069	2230	2390	2373	2555	2738	2739	2947	3156
	1.7	1298	1409	1519	1412	1528	1648	1708	1845	1980	2031	2187	2342	2332	2510	2687	2696	2898	3103
	1.8	1264	1370	1475	1376	1488	1603	1669	1802	1932	1991	2142	2292	2289	2462	2634	2651	2848	3046
	1.9	1228	1329	1430	1340	1447	1556	1628	1756	1881	1949	2094	2240	2244	2412	2579	2604	2794	2988
	2.0	1190	1286	1382	1301	1403	1508	1586	1709	1828	1905	2045	2184	2197	2359	2520	2554	2739	2926
	2.1	1151	1242	1333	1261	1358	1457	1542	1659	1773	1859	1993	2127	2148	2304	2459	2503	2681	2862
	2.2	1111	1197	1284	1220	1311	1406	1496	1608	1716	1811	1939	2067	2097	2247	2396	2449	2620	2795
	2.3	1070	1152	1233	1178	1264	1354	1449	1556	1658	1761	1884	2006	2044	2188	2330	2393	2557	2725
	2.4	1029	1106	1183	1136	1216	1301	1402	1503	1599	1710	1827	1943	1990	2127	2263	2335	2492	2654
	2.5	988	1061	1133	1093	1169	1249	1353	1449	1540	1658	1769	1879	1934	2064	2194	2276	2426	2580
	2.6	948	1016	1084	1050	1121	1197	1304	1395	1480	1605	1710	1814	1877	2000	2124	2214	2357	2505
	2.7	908	972	1036	1008	1075	1146	1256	1341	1422	1552	1651	1750	1819	1936	2054	2152	2288	2428
	2.8	869	929	990	967	1029	1097	1208	1288	1364	1499	1592	1685	1760	1872	1983	2089	2217	2351
	2.9	832	888	945	927	985	1049	1160	1236	1308	1445	1534	1622	1702	1807	1913	2025	2147	2274
	3.0	795	848	902	887	942	1002	1114	1186	1253	1393	1476	1559	1643	1743	1843	1961	2076	2197
	3.1	760	810	861	850	901	958	1069	1137	1200	1341	1420	1498	1586	1680	1775	1897	2006	2121
	3.2	727	774	822	813	862	916	1026	1090	1149	1291	1365	1439	1529	1618	1708	1834	1936	2045

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	I36a	I36b	I36c	I40a	I40b	I40c	I45a	I45b	I45c	I50a	I50b	I50c	I56a	I56b	I56c	I63a	I63b	I63c
		面积 A (cm^2)																	
		76.44	83.64	90.84	86.07	94.07	102.07	102.4	111.4	120.4	119.25	129.25	139.25	135.38	146.58	157.78	154.59	167.19	179.79
	3.3	695	740	785	779	825	875	984	1044	1101	1242	1312	1382	1473	1558	1643	1771	1868	1972
	3.4	665	707	750	746	789	837	943	1001	1054	1194	1260	1327	1419	1499	1580	1710	1802	1900
	3.5	636	676	717	714	755	800	905	959	1010	1148	1211	1274	1367	1443	1519	1650	1737	1830
	3.6	609	647	685	684	723	766	868	920	967	1104	1163	1223	1316	1388	1460	1591	1674	1763
	3.7	583	619	656	655	692	733	833	882	927	1061	1117	1174	1267	1335	1404	1535	1613	1697
	3.8	558	593	628	628	663	702	799	846	889	1020	1074	1128	1220	1284	1350	1480	1554	1634
	3.9	535	568	601	603	636	673	767	812	853	981	1032	1083	1174	1236	1298	1427	1497	1574
	4.0	513	544	576	578	610	645	737	780	819	944	992	1041	1131	1189	1249	1376	1443	1516
	4.2	473	501	530	533	562	594	681	720	755	874	918	963	1049	1103	1157	1280	1340	1407
	4.4	437	463	489	493	519	549	630	666	698	811	851	892	975	1024	1073	1192	1246	1308
	4.6	404	428	453	457	481	508	585	617	647	754	790	828	907	952	997	1111	1161	1217
	4.8	375	397	420	424	446	471	543	573	601	702	735	770	845	886	928	1037	1082	1134 ①
	5.0	349	369	390	395	415	438	506	534	559	654	686	717	789	827	866	969	1011	1059
	5.2	325	344	363	368	387	409	472	498	521	611	640	670	738	773	809	907	946	991
	5.4	304	321	339	344	361	382	442	466	487	572	599	627	691	724	757	850	886	928
	5.6	284	301	318	322	338	357	414	436	456	537	562	587	648	679	710	798	832	871
	5.8	267	282	298	302	317	335	388	409	428	504	527	551	609	638	667	751	782	818
	6.0	251	265	280	284	298	315	365	385	402	474	496	519	574	600	628	707	737	770
										②			②						

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \varphi A f$

φ 由 $\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y}$，按表 14-3 或表注的公式求得。

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

9）Q235钢　两个热轧普通槽钢（两腹板相连）轴心受压稳定时的承载力设计值（kN）

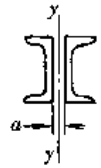
表 19-13

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2[8	2[10	2[2.6	2[14a	2[14b	2[16a	2[16b	2[18a	2[18b	2[20a	2[20b	2[22a	2[22b	2[25a	2[25b	2[25c	2[28a	2[28b	2[28c	2[32a	2[32b	2[32c
		面积 A (cm^2)																					
		20.49	25.49	31.37	37.02	42.62	43.91	50.31	51.38	58.58	57.66	65.66	63.67	72.47	69.81	79.81	89.81	80.04	91.24	102.44	97	109.8	122.6
	2.0	347	467	606	727	833	877	1002	1040	1182	1180	1340	1314	1492	1454	1659	1863	1677	1909	2141	2045	2312	2579
	2.1	339	461	600	721	826	872	995	1035	1176	1174	1334	1309	1486	1449	1653	1856	1673	1904	2134	2041	2307	2574
	2.2	331	454	595	716	819	866	988	1029	1169	1169	1327	1303	1479	1444	1647	1849	1668	1898	2127	2036	2302	2568
	2.3	322	447	589	710	812	861	982	1023	1162	1164	1321	1298	1473	1439	1641	1842	1663	1892	2120	2032	2297	2561
	2.4	313	440	583	704	805	855	975	1018	1156	1158	1314	1292	1467	1434	1635	1835	1658	1885	2113	2027	2291	2555
	2.5	304	432	577	698	798	849	968	1012	1149	1152	1308	1287	1460	1428	1628	1828	1652	1879	2106	2022	2285	2547
	2.6	295	424	571	692	790	843	961	1006	1142	1147	1301	1281	1453	1423	1622	1821	1647	1873	2099	2017	2278	2540
	2.7	285	416	564	685	783	837	953	1000	1134	1141	1294	1276	1447	1418	1616	1814	1642	1867	2091	2011	2272	2532
	2.8	276	408	558	679	775	831	946	994	1127	1135	1287	1270	1440	1412	1610	1807	1636	1860	2084	2006	2265	2525
	2.9	267	399	551	672	767	824	938	987	1120	1129	1280	1264	1433	1407	1603	1799	1631	1854	2077	2000	2259	2517
	3.0	257	391	544	665	758	818	930	981	1112	1123	1273	1258	1426	1402	1597	1792	1626	1848	2069	1994	2252	2510
	3.1	248	382	536	658	750	811	922	975	1104	1117	1265	1253	1419	1396	1590	1784	1620	1841	2062	1989	2246	2502
	3.2	239	373	529	651	741	804	914	968	1097	1111	1258	1247	1412	1391	1584	1776	1615	1835	2054	1983	2239	2495
	3.3	230	363	521	643	732	797	905	961	1088	1104	1250	1241	1405	1385	1577	1769	1609	1828	2047	1977	2232	2487
	3.4	222	354	513	636	722	790	897	954	1080	1098	1243	1234	1398	1379	1570	1761	1603	1821	2039	1971	2225	2479
	3.5	213	345	505	628	713	783	888	947	1072	1091	1235	1228	1390	1374	1564	1753	1598	1815	2031	1966	2219	2471
	3.6	205	335	497	620	703	775	879	940	1063	1085	1227	1222	1383	1368	1557	1745	1592	1808	2023	1960	2212	2464
	3.7	198	326	489	612	693	767	869	933	1054	1078	1219	1215	1375	1362	1550	1737	1586	1801	2015	1954	2205	2456
	3.8	190	317	480	603	682	760	860	925	1045	1071	1211	1209	1368	1356	1543	1729	1580	1794	2007	1948	2198	2448
	3.9	183	308	471	594	672	752	850	918	1036	1064	1202	1202	1360	1350	1535	1720	1574	1787	1999	1942	2191	2440
	4.0	176	299	462	586	661	743	840	910	1027	1057	1193	1196	1352	1344	1528	1712	1568	1780	1991	1936	2184	2431
	4.2	163	281	445	568	639	726	820	894	1007	1042	1176	1182	1335	1332	1513	1694	1556	1766	1974	1924	2170	2415
	4.4	152	265	426	549	617	708	798	877	987	1026	1157	1168	1318	1319	1498	1677	1544	1751	1957	1911	2155	2398
	4.6	141	249	408	530	594	690	776	859	966	1010	1138	1153	1300	1306	1482	1658	1531	1736	1939	1899	2140	2381
	4.8	131	234	390	511	571	671	753	841	944	994	1118	1137	1282	1293	1466	1639	1518	1720	1921	1886	2125	2364
	5.0	123	220	373	491	548	652	730	823	922	977	1098	1122	1263	1279	1449	1620	1505	1704	1903	1873	2109	2346
	5.2	115	207	355	472	525	632	706	803	899	959	1076	1105	1243	1264	1432	1599	1491	1688	1884	1859	2094	2327
	5.4	107	195	339	453	503	612	683	783	875	940	1054	1088	1223	1250	1414	1578	1477	1671	1864	1845	2077	2309
	5.6	101	184	323	434	481	592	659	763	851	921	1031	1071	1202	1234	1396	1557	1463	1654	1844	1831	2061	2289
	5.8	94.6	174	307	416	460	571	635	742	826	902	1008	1053	1180	1219	1377	1534	1448	1636	1823	1817	2044	2270
	6.0	89.0	164	293	398	440	551	612	721	802	882	984	1034	1158	1202	1357	1511	1433	1617	1801	1802	2026	2250
	6.2	83.9	156	279	381	421	532	589	700	777	862	960	1015	1135	1186	1337	1488	1417	1599	1779	1787	2009	2229
	6.4	79.2	147	266	365	402	512	567	679	752	841	936	996	1112	1169	1316	1463	1401	1579	1756	1772	1990	2208
	6.6	74.9	140	254	349	384	493	545	658	728	820	911	976	1088	1151	1295	1438	1384	1559	1733	1756	1972	2186
	6.8	70.9	133	242	335	368	475	524	638	704	799	886	955	1064	1133	1273	1413	1367	1539	1709	1740	1952	2164
	7.0	67.2	126	231	320	352	457	503	617	680	778	861	935	1039	1115	1251	1387	1350	1518	1685	1724	1933	2141
		②	①																				

注：2[36a～2[40c 见第838页

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2[8	2[10	2[12.6	2[14a	2[14b	2[16a	2[16b	2[18a	2[18h	2[20a	2[20b	2[22a	2[22b	2[25a	2[25b	2[25c	2[28a	2[28b	2[28c	2[32a	2[32b	2[32c
		面积 A (cm^2)																					
		20.49	25.49	31.37	37.02	42.62	43.91	50.31	51.38	58.58	57.66	65.66	63.67	72.47	69.81	79.81	89.81	80.04	91.24	102.44	97	109.8	122.6
	1.0	384	485	607	724	833	867	991	1021	1162	1158	1316	1285	1460	1408	1606	1805	1622	1845	2069	1978	2235	2492
	1.1	374	475	597	713	819	854	976	1007	1146	1144	1300	1271	1443	1393	1588	1784	1605	1825	2047	1959	2212	2467
	1.2	365	464	585	701	805	841	961	993	1130	1130	1284	1256	1426	1377	1569	1762	1588	1805	2023	1940	2190	2441
	1.3	354	452	573	688	790	827	945	979	1113	1115	1267	1241	1408	1360	1549	1740	1570	1784	1999	1920	2166	2414
	1.4	343	440	561	675	774	813	928	963	1095	1100	1249	1225	1390	1343	1529	1716	1551	1762	1974	1899	2142	2387
	1.5	331	427	547	661	758	798	910	947	1076	1084	1230	1209	1371	1325	1508	1692	1532	1739	1948	1878	2117	2359
	1.6	318	413	533	646	740	782	891	930	1056	1068	1211	1192	1351	1306	1485	1667	1512	1716	1921	1856	2092	2329
	1.7	305	398	518	630	722	765	872	912	1035	1050	1191	1174	1330	1286	1462	1640	1491	1691	1893	1833	2065	2299
	1.8	291	383	502	613	702	747	851	893	1013	1032	1169	1156	1308	1266	1438	1612	1469	1666	1864	1809	2037	2267
	1.9	277	367	485	596	682	729	829	873	990	1013	1147	1136	1286	1245	1413	1583	1447	1639	1833	1785	2008	2234
	2.0	263	352	468	578	660	709	806	853	965	993	1124	1116	1262	1222	1386	1553	1423	1611	1801	1759	1978	2200
	2.1	250	336	450	559	638	689	782	831	940	972	1099	1095	1237	1199	1359	1521	1398	1582	1768	1732	1947	2164
	2.2	237	320	433	540	616	668	758	809	914	951	1074	1073	1211	1175	1330	1488	1373	1552	1733	1705	1914	2126
	2.3	224	304	415	520	593	647	733	785	887	928	1048	1050	1184	1150	1300	1453	1346	1520	1697	1676	1881	2088
	2.4	212	289	397	500	570	625	707	762	860	905	1021	1026	1156	1123	1269	1418	1318	1487	1659	1646	1845	2047
	2.5	200	274	379	481	547	603	682	737	831	881	993	1002	1128	1096	1237	1381	1290	1453	1621	1615	1809	2006
	2.6	189	260	362	461	524	581	656	713	803	857	964	977	1098	1069	1204	1343	1260	1419	1581	1583	1771	1962
	2.7	179	247	346	442	502	559	630	688	775	832	935	951	1068	1040	1171	1305	1230	1383	1540	1550	1732	1918
	2.8	169	234	330	423	480	537	605	664	746	806	906	925	1037	1011	1137	1266	1199	1346	1498	1516	1693	1873
	2.9	160	222	314	405	459	515	581	639	718	781	876	898	1006	982	1102	1227	1167	1309	1456	1481	1652	1826
	3.0	152	211	300	387	439	495	557	615	691	756	847	871	975	953	1068	1188	1135	1272	1413	1446	1610	1779
	3.1	144	201	286	370	420	474	534	592	664	730	818	844	944	923	1033	1148	1103	1234	1370	1410	1568	1731
	3.2	136	191	273	354	401	455	511	569	638	705	789	818	913	894	999	1110	1070	1196	1327	1373	1526	1683
	3.3	129	182	260	338	383	436	490	547	612	681	761	791	883	865	966	1072	1038	1159	1285	1336	1483	1634
	3.4	123	173	248	324	366	418	469	525	588	657	733	765	853	836	932	1034	1006	1122	1243	1299	1440	1586
	3.5	117	165	237	310	351	401	450	505	565	633	707	739	823	808	900	998	974	1085	1202	1263	1398	1538
	3.6	112	157	226	297	335	384	431	485	542	610	681	714	795	780	868	962	943	1049	1161	1226	1356	1491
	3.7	106	150	217	284	321	369	413	466	521	588	656	689	767	753	838	928	912	1014	1122	1190	1314	1444
	3.8	101	143	207	272	308	354	396	448	500	567	632	666	740	727	808	894	882	980	1084	1154	1273	1399
	3.9	96.9	137	198	261	295	339	380	430	480	546	608	643	714	702	779	862	853	947	1046	1119	1233	1354
	4.0	92.6	131	190	250	283	326	365	414	462	527	586	620	688	677	752	831	824	914	1010	1084	1194	1310
	4.2	84.8	120	175	230	260	301	337	383	427	489	544	578	641	631	699	773	770	853	942	1018	1119	1227
	4.4	78.0	111	161	213	240	278	312	355	396	455	506	539	597	588	651	719	720	796	879	955	1049	1148
	4.6	71.9	102	149	197	222	258	289	330	367	424	471	503	557	549	607	670	673	744	820	896	983	1075
	4.8	66.5	94.4	138	183	206	240	268	307	342	396	439	470	520	513	567	625	630	696	767	841	921	1008
	5.0	61.7	87.6	128	170	192	223	250	286	318	369	410	440	486	480	530	584	590	651	718	790	865	945
	5.2	57.3	81.5	119	159	179	208	233	267	297	346	383	412	455	449	496	547	554	611	672	743	812	887
	5.4		76.0	112	148	167	195	218	250	278	324	359	386	427	422	465	513	520	573	631	699	764	834
	5.6		71.0	104	139	156	183	204	234	261	304	337	363	401	396	437	481	489	539	593	658	719	785
	5.8			97.8	130	147	171	191	220	245	286	317	342	377	373	411	453	460	507	558	621	678	740
	6.0			91.8	122	138	161	180	207	230	269	298	322	355	351	387	426	434	478	526	586	640	698

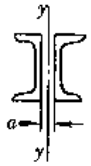


[8 ~ 10 a = 6mm
[12.6 ~ [18 a = 8mm
[20 ~ [25 a = 10mm
[28 ~ [32 a = 12mm

① ② ③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2[36a	2[36b	2[36c	2[40a	2[40b	2[40c
		面积 A (cm^2)					
		121.78	136.18	150.58	150.09	166.09	182.09
	2.5	2555	2854	3152	3015	3334	3652
	2.6	2550	2848	3145	3010	3328	3645
	2.7	2545	2842	3138	3005	3322	3638
	2.8	2539	2835	3130	2999	3315	3631
	2.9	2533	2828	3122	2994	3309	3624
	3.0	2527	2821	3114	2988	3303	3616
	3.1	2521	2813	3106	2982	3295	3608
	3.2	2514	2806	3098	2975	3287	3599
	3.3	2508	2799	3090	2969	3280	3591
	3.4	2502	2792	3081	2962	3272	3582
	3.5	2495	2784	3073	2955	3265	3574
	3.6	2489	2777	3065	2948	3257	3565
	3.7	2482	2770	3056	2942	3249	3557
	3.8	2476	2762	3048	2935	3242	3548
	3.9	2470	2755	3039	2928	3234	3539
	4.0	2463	2747	3031	2921	3226	3530
	4.2	2450	2732	3014	2907	3210	3513
	4.4	2436	2716	2996	2893	3194	3495
	4.6	2423	2701	2978	2879	3178	3477
	4.8	2409	2685	2960	2865	3162	3459
	5.0	2395	2669	2942	2850	3145	3440
	5.2	2381	2652	2923	2836	3129	3421
	5.4	2366	2636	2904	2821	3112	3402
	5.6	2352	2619	2885	2806	3094	3383
	5.8	2337	2601	2865	2790	3077	3363
	6.0	2322	2583	2845	2775	3059	3343
	6.2	2306	2565	2824	2759	3041	3322
	6.4	2290	2547	2803	2743	3023	3302
	6.6	2274	2528	2781	2726	3004	3280
	6.8	2257	2509	2759	2709	2985	3259
	7.0	2240	2489	2736	2692	2965	3237
	7.2	2223	2469	2713	2675	2945	3214
	7.4	2205	2448	2690	2657	2925	3191
	7.6	2187	2427	2666	2639	2904	3168
	7.8	2169	2406	2641	2621	2883	3144
	8.0	2150	2384	2616	2602	2862	3120

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2[36a	2[36b	2[36c	2[40a	2[40b	2[40c
		面积 A (cm^2)					
		121.78	136.18	150.58	150.09	166.09	182.09
	1.5	2387	2662	2937	2814	3107	3401
	1.6	2362	2633	2906	2786	3075	3366
	1.7	2337	2604	2873	2757	3043	3330
	1.8	2310	2574	2839	2727	3009	3292
	1.9	2283	2543	2803	2696	2974	3253
	2.0	2255	2511	2767	2664	2938	3213
	2.1	2226	2477	2729	2631	2901	3171
	2.2	2196	2442	2689	2597	2862	3128
	2.3	2164	2406	2648	2562	2821	3083
	2.4	2132	2368	2606	2525	2780	3036
	2.5	2098	2329	2562	2487	2736	2988
	2.6	2063	2289	2516	2448	2692	2938
	2.7	2027	2247	2469	2407	2645	2887
	2.8	1990	2204	2420	2365	2598	2833
	2.9	1951	2160	2370	2322	2548	2778
	3.0	1912	2115	2319	2277	2498	2722
	3.1	1872	2068	2267	2231	2446	2664
	3.2	1831	2021	2214	2185	2393	2605
	3.3	1789	1973	2160	2137	2340	2546
	3.4	1747	1925	2105	2089	2285	2485
	3.5	1704	1876	2051	2040	2230	2424
	3.6	1661	1827	1996	1991	2175	2363
	3.7	1618	1779	1942	1942	2119	2301
	3.8	1575	1730	1887	1892	2064	2240
	3.9	1533	1682	1834	1843	2009	2179
	4.0	1491	1634	1781	1794	1954	2119
	4.2	1408	1541	1678	1698	1847	2001
	4.4	1328	1452	1580	1605	1744	1888
	4.6	1253	1368	1486	1515	1645	1780
	4.8	1181	1288	1399	1430	1551	1677
	5.0	1113	1213	1317	1350	1463	1581
	5.2	1050	1143	1240	1275	1380	1491
	5.4	990	1078	1169	1204	1303	1407
	5.6	935	1017	1102	1138	1230	1328
	5.8	884	961	1041	1076	1163	1255
	6.0	836	909	984	1018	1101	1187
	6.2	792	860	931	965	1042	1124
	6.4	751	815	882	915	988	1066
	6.6	712	773	836	869	938	1011
	6.8	676	734	794	825	891	960
	7.0	643	698	755	785	847	913

10）Q235 钢　两个热轧普通槽钢（两翼缘尖端相连）轴心受压稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-14

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2[8	2[10	2[12.6	2[14a	2[14b	2[16a	2[16b
		面积 (cm)²						
		20.49	25.49	31.37	37.02	42.62	43.91	50.31
	2.0	347	467	606	727	833	877	1002
	2.1	339	461	600	721	826	872	995
	2.2	331	454	595	716	819	866	988
	2.3	322	447	589	710	812	861	982
	2.4	313	440	583	704	805	855	975
	2.5	304	432	577	698	798	849	968
	2.6	295	424	571	692	790	843	961
	2.7	285	416	564	685	783	837	953
	2.8	276	408	558	679	775	831	946
	2.9	267	399	551	672	767	824	938
	3.0	257	391	544	665	758	818	930
	3.1	248	382	536	658	750	811	922
	3.2	239	373	529	651	741	804	914
	3.3	230	363	521	643	732	797	905
	3.4	222	354	513	636	722	790	897
	3.5	213	345	505	628	713	783	888
	3.6	205	335	497	620	703	775	879
	3.7	198	326	489	612	693	767	869
	3.8	190	317	480	603	682	760	860
	3.9	183	308	471	594	672	752	850
	4.0	176	299	462	586	661	743	840
	4.2	163	281	445	568	639	726	820
	4.4	152	265	426	549	617	708	798
	4.6	141	249	408	530	594	690	776
	4.8	131	234	390	511	571	671	753
	5.0	123	220	373	491	548	652	730
	5.2	115	207	355	472	525	632	706
	5.4	107	195	339	453	503	612	683
	5.6	101	184	323	434	481	592	659
	5.8	94.6	174	307	416	460	571	635
	6.0	89.0	164	293	398	440	551	612
	6.2	83.9	156	279	381	421	532	589
	6.4	79.2	147	266	365	402	512	567
	6.6	74.9	140	254	349	384	493	545
	6.8	70.9	133	242	335	368	475	524
	7.0	67.2	126	231	320	352	457	503
			②	①				

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2[8	2[10	2[12.6	2[14a	2[14b	2[16a	2[16b
		面积 (cm)²						
		20.49	25.49	31.37	37.02	42.62	43.91	50.31
	2.0	347	454	578	699	812	844	975
	2.1	339	446	571	691	804	836	966
	2.2	331	438	563	683	796	828	958
	2.3	323	430	554	675	787	820	949
	2.4	314	421	546	666	778	811	940
	2.5	305	412	537	657	769	802	930
	2.6	296	403	527	648	759	793	920
	2.7	286	393	518	639	749	784	910
	2.8	277	383	508	629	739	774	900
	2.9	268	373	498	619	728	764	889
	3.0	258	363	487	608	717	753	879
	3.1	249	353	476	598	706	743	867
	3.2	240	343	466	587	694	732	856
	3.3	231	332	455	576	683	721	844
	3.4	223	322	443	564	671	709	832
	3.5	214	312	432	553	658	697	819
	3.6	206	302	421	541	646	685	806
	3.7	198	292	410	529	633	673	793
	3.8	191	283	399	517	620	660	780
	3.9	184	274	387	505	607	648	767
	4.0	177	265	376	493	594	635	753
	4.2	164	247	355	469	567	609	725
	4.4	152	231	335	445	541	583	696
	4.6	142	216	315	422	515	557	668
	4.8	132	202	297	400	490	531	639
	5.0	123	190	279	379	465	507	611
	5.2	115	178	263	359	442	482	584
	5.4	108	167	248	340	419	459	557
	5.6	101	157	234	322	398	437	532
	5.8	95.1	148	221	305	378	416	507
	6.0	89.5	140	209	289	359	396	483
	6.2	84.4	132	198	274	341	377	461
	6.4	79.7	125	188	261	325	359	440
	6.6	75.3	118	178	248	309	342	420
	6.8	71.3	112	169	236	294	326	400
	7.0	67.6	106	161	224	280	311	382
	7.2	64.2	101	153	214	267	297	365
	7.4	61.0	96.1	146	204	255	283	349
	7.6	58.1	91.5	139	195	244	271	334 ①
	7.8	55.3	87.3	133	186	233	259	320
	8.0		83.3	127	178	223	248	307
			③	②				

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	2[18a	2[18b	2[20a	2[20b	2[22a	2[22b	2[25a	2[25b	2[25c	2[28a	2[28b	2[28c	2[32a	2[32b	2[32c	2[36a	2[36b	2[36c	2[40a	2[40b	2[40c
		面积 A (cm^2)																				
		51.38	58.58	57.66	65.66	63.67	72.47	69.81	79.81	89.81	80.04	91.24	102.44	97	109.8	122.6	121.78	136.18	150.58	150.09	166.09	182.09
	2.5	1012	1149	1152	1308	1287	1460	1428	1628	1828	1652	1879	2106	2022	2285	2547	2555	2854	3152	3015	3334	3652
	2.6	1006	1142	1147	1301	1281	1453	1423	1622	1821	1647	1873	2099	2017	2278	2540	2550	2848	3145	3010	3328	3645
	2.7	1000	1134	1141	1294	1276	1447	1418	1616	1814	1642	1867	2091	2011	2272	2332	2545	2842	3138	3005	3322	3638
	2.8	994	1127	1135	1287	1270	1440	1412	1610	1807	1636	1860	2084	2006	2265	2525	2539	2835	3130	2999	3315	3631
	2.9	987	1120	1129	1280	1264	1433	1407	1603	1799	1631	1854	2077	2000	2259	2517	2533	2828	3122	2994	3309	3624
	3.0	981	1112	1123	1273	1258	1426	1402	1597	1792	1626	1848	2069	1994	2252	2510	2527	2821	3114	2988	3303	3616
	3.1	975	1104	1117	1265	1253	1419	1396	1590	1784	1620	1841	2062	1989	2246	2502	2521	2813	3106	2982	3295	3608
	3.2	968	1097	1111	1258	1247	1412	1391	1584	1776	1615	1835	2054	1983	2239	2495	2514	2806	3098	2975	3287	3599
	3.3	961	1088	1104	1250	1241	1405	1385	1577	1769	1609	1828	2047	1977	2232	2487	2508	2799	3090	2969	3280	3591
	3.4	954	1080	1098	1243	1234	1398	1379	1570	1761	1603	1821	2039	1971	2225	2479	2502	2792	3081	2962	3272	3582
	3.5	947	1072	1091	1235	1228	1390	1374	1564	1753	1598	1815	2031	1966	2219	2471	2495	2784	3073	2955	3265	3574
	3.6	940	1063	1085	1227	1222	1383	1368	1557	1745	1592	1808	2023	1960	2212	2464	2489	2777	3065	2948	3257	3565
	3.7	933	1054	1078	1219	1215	1375	1362	1550	1737	1586	1801	2015	1954	2205	2456	2482	2770	3056	2942	3249	3557
	3.8	925	1045	1071	1211	1209	1368	1356	1543	1729	1580	1794	2007	1948	2198	2448	2476	2762	3048	2935	3242	3548
	3.9	918	1036	1064	1202	1202	1360	1350	1535	1720	1574	1787	1999	1942	2191	2440	2470	2755	3039	2928	3234	3539
	4.0	910	1027	1057	1193	1196	1352	1344	1528	1712	1568	1780	1991	1936	2184	2431	2463	2747	3031	2921	3226	3530
	4.2	894	1007	1042	1176	1182	1335	1332	1513	1694	1556	1766	1974	1924	2170	2415	2450	2732	3014	2907	3210	3513
	4.4	877	987	1026	1157	1168	1318	1319	1498	1677	1544	1751	1957	1911	2155	2398	2436	2716	2996	2893	3194	3495
	4.6	859	966	1010	1138	1153	1300	1306	1482	1658	1531	1736	1939	1899	2140	2381	2423	2701	2978	2879	3178	3477
	4.8	841	944	994	1118	1137	1282	1293	1466	1639	1518	1720	1921	1886	2125	2364	2409	2685	2960	2865	3162	3459
	5.0	823	922	977	1098	1122	1263	1279	1449	1620	1505	1704	1903	1873	2109	2346	2395	2669	2942	2850	3145	3440
	5.2	803	899	959	1076	1105	1243	1264	1432	1599	1491	1688	1884	1859	2094	2327	2381	2652	2923	2836	3129	3421
	5.4	783	875	940	1054	1088	1223	1250	1414	1578	1477	1671	1864	1845	2077	2309	2366	2636	2904	2821	3112	3402
	5.6	763	851	921	1031	1071	1202	1234	1396	1557	1463	1654	1844	1831	2061	2289	2352	2619	2885	2806	3094	3383
	5.8	742	826	902	1008	1053	1180	1219	1377	1534	1448	1636	1823	1817	2044	2270	2337	2601	2865	2790	3077	3363
	6.0	721	802	882	984	1034	1158	1202	1357	1511	1433	1617	1801	1802	2026	2250	2322	2583	2845	2775	3059	3343
	6.2	700	777	862	960	1015	1135	1186	1337	1488	1417	1599	1779	1787	2009	2229	2306	2565	2824	2759	3041	3322
	6.4	679	752	841	936	996	1112	1169	1316	1463	1401	1579	1756	1772	1990	2208	2290	2547	2803	2743	3023	3302
	6.6	658	728	820	911	976	1088	1151	1295	1438	1384	1559	1733	1756	1972	2186	2274	2528	2781	2726	3004	3280
	6.8	638	704	799	886	955	1064	1133	1273	1413	1367	1539	1709	1740	1952	2164	2257	2509	2759	2709	2985	3259
	7.0	617	680	778	861	935	1039	1115	1251	1387	1350	1518	1685	1724	1933	2141	2240	2489	2736	2692	2965	3237
	7.2	597	657	757	837	914	1015	1096	1229	1360	1332	1496	1659	1707	1913	2117	2223	2469	2713	2675	2945	3214
	7.4	577	634	736	812	893	990	1076	1205	1333	1314	1474	1634	1689	1892	2093	2205	2448	2690	2657	2925	3191
	7.6	558	612	715	788	872	965	1057	1182	1306	1295	1452	1607	1671	1871	2069	2187	2427	2666	2639	2904	3168
	7.8	539	591	694	764	851	940	1037	1158	1279	1276	1429	1581	1653	1849	2044	2169	2406	2641	2621	2883	3144
	8.0	521	571	674	741	829	916	1017	1134	1251	1256	1406	1553	1635	1827	2018	2150	2384	2616	2602	2862	3120

续表

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	2[18a	2[18b	2[20a	2[20b	2[22a	2[22b	2[25a	2[25b	2[25c	2[28a	2[28b	2[28c	2[32a	2[32b	2[32c	2[36a	2[36b	2[36c	2[40a	2[40b	2[40c
		面积 A (cm^2)																				
		51.38	58.58	57.66	65.66	63.67	72.47	69.81	79.81	89.81	80.04	91.24	102.44	97	109.8	122.6	121.78	136.18	150.58	150.09	166.09	182.09
	2.5	959	1105	1095	1256	1222	1401	1345	1548	1752	1558	1787	2015	1910	2172	2435	2426	2723	3021	2867	3183	3499
	2.6	950	1095	1086	1247	1213	1391	1336	1538	1740	1548	1776	2003	1899	2160	2422	2413	2710	3006	2853	3168	3483
	2.7	941	1085	1076	1237	1204	1381	1326	1527	1729	1538	1764	1991	1887	2148	2409	2401	2696	2992	2839	3153	3467
	2.8	931	1074	1066	1226	1194	1371	1315	1516	1717	1527	1753	1979	1876	2135	2395	2388	2682	2977	2825	3138	3451
	2.9	921	1064	1057	1216	1184	1360	1305	1505	1705	1516	1741	1966	1864	2123	2382	2375	2669	2962	2811	3123	3435
	3.0	911	1053	1046	1205	1174	1349	1294	1493	1693	1505	1729	1953	1852	2110	2368	2362	2654	2947	2796	3107	3419
	3.1	900	1042	1036	1194	1163	1338	1283	1481	1680	1494	1717	1940	1839	2096	2354	2348	2640	2932	2781	3091	3402
	3.2	889	1030	1025	1183	1153	1327	1272	1469	1667	1482	1704	1927	1827	2083	2339	2334	2625	2916	2766	3075	3385
	3.3	878	1018	1014	1171	1142	1315	1260	1457	1654	1470	1692	1913	1814	2069	2325	2320	2610	2901	2751	3059	3368
	3.4	866	1006	1003	1159	1131	1303	1248	1444	1641	1458	1678	1899	1801	2055	2310	2306	2595	2885	2736	3043	3350
	3.5	854	994	992	1147	1119	1291	1236	1432	1627	1445	1665	1885	1788	2041	2295	2292	2580	2868	2720	3026	3333
	3.6	842	981	980	1134	1107	1279	1224	1418	1613	1433	1652	1871	1774	2027	2279	2277	2564	2852	2704	3009	3315
	3.7	830	968	968	1122	1095	1266	1211	1405	1599	1420	1638	1856	1760	2012	2264	2262	2548	2835	2687	2992	3297
	3.8	817	954	955	1108	1083	1253	1198	1391	1584	1406	1623	1841	1746	1997	2248	2247	2532	2818	2671	2974	3278
	3.9	804	941	942	1095	1070	1239	1185	1377	1569	1393	1609	1825	1732	1981	2231	2231	2516	2800	2654	2956	3259
	4.0	791	927	929	1081	1057	1226	1171	1362	1554	1379	1594	1810	1717	1966	2214	2215	2499	2782	2637	2938	3240
	4.2	764	898	903	1053	1031	1198	1143	1332	1522	1350	1563	1777	1686	1933	2180	2182	2464	2746	2601	2901	3201
	4.4	737	869	875	1023	1003	1168	1114	1301	1489	1320	1531	1743	1655	1899	2144	2148	2428	2708	2564	2862	3160
	4.6	709	838	847	993	974	1138	1084	1269	1454	1289	1498	1708	1622	1864	2107	2113	2391	2668	2526	2821	3117
	4.8	681	808	818	962	945	1106	1053	1235	1419	1256	1463	1671	1587	1828	2068	2076	2352	2627	2486	2780	3074
	5.0	653	777	789	931	915	1074	1021	1201	1382	1223	1428	1633	1552	1790	2028	2038	2312	2585	2445	2736	3028
	5.2	625	747	760	899	885	1041	988	1166	1345	1189	1391	1594	1515	1751	1987	1999	2270	2541	2403	2692	2981
	5.4	598	717	731	867	854	1008	956	1130	1306	1154	1354	1554	1477	1710	1944	1958	2227	2496	2359	2645	2933
	5.6	572	687	702	835	824	975	923	1095	1268	1119	1316	1513	1439	1669	1900	1916	2183	2449	2313	2598	2883
	5.8	547	658	674	804	794	942	891	1059	1229	1084	1277	1472	1400	1627	1855	1873	2137	2401	2267	2548	2831
	6.0	522	631	647	773	764	909	858	1023	1189	1049	1238	1429	1360	1584	1809	1829	2090	2352	2219	2498	2778
	6.2	499	604	620	743	735	876	827	987	1150	1014	1199	1387	1321	1541	1763	1785	2043	2301	2170	2446	2724
	6.4	477	578	594	713	707	844	796	952	1112	979	1161	1345	1281	1497	1716	1739	1994	2250	2120	2393	2668
	6.6	456	553	570	685	679	813	765	918	1073	945	1123	1303	1241	1454	1668	1694	1945	2197	2070	2340	2611
	6.8	436	529	546	658	652	782	736	885	1036	911	1085	1261	1202	1410	1621	1648	1896	2144	2019	2285	2553
	7.0	416	507	523	631	627	753	708	852	1000	879	1048	1220	1163	1367	1574	1602	1846	2091	1967	2230	2495
	7.2	398	486	502	606	602	724	681	821	964	847	1012	1180	1125	1325	1527	1556	1796	2037	1916	2175	2436
	7.4	381	465	481	582	579	697	655	790	929	816	977	1141	1088	1283	1481	1511	1747	1984	1864	2119	2377
	7.6	365	446	462	559	556	671	629	761	896	787	943	1102	1051	1242	1436	1466	1698	1930	1813	2064	2317
	7.8	350	428	443	537	535	645	605	733	864	758	910	1065	1016	1202	1391	1422	1649	1878	1763	2009	2258
	8.0	335	410	426	516	514	621	582	706	833	731	878	1029	982	1163	1347	1379	1601	1825	1712	1954	2199
	8.2	322	394	409	496	494	598	561	680	803	705	847	994	949	1125	1305	1337	1554	1774	1663	1900	2141
	8.4	309	378	393	477	476	576	540	655	775	679	818	960	917	1088	1264	1296	1508	1723	1615	1847	2083
	8.6	297	364	378	459	458	555	520	631	747	655	789	927	886	1053	1223	1256	1463	1673	1568	1795	2026
	8.8	285	350	364	442	441	535	501	609	721	632	762	896	856	1018	1184	1217	1419	1624	1521	1744	1970
	9.0	274	337	350	426	425	516	483	587	696	610	736	866	827	985	1147	1179	1376	1577	1476	1694	1915

①

11）Q235钢　一个热轧等边角钢单面连接按轴心受压计算稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-15

对应轴简图	计算长度 l_{ov} (m)	L45			L50			L56			L63					L70					L75				
		4	5	6	4	5	6	4	5	8	4	5	6	8	10	4	5	6	7	8	5	6	7	8	10
		面积 A (cm^2)																							
		3.49	4.29	5.08	3.90	4.80	5.69	4.39	5.42	8.37	4.98	6.14	7.29	9.51	11.66	5.57	6.88	8.16	9.42	10.67	7.41	8.80	10.16	11.50	14.13
	0.75	35.9	43.8	51.9	42.8	52.4	62.1	50.7	62.3	95.9	59.8	73.5	87.1	113.4	138.7	68.4	84.4	99.9	115.4	130.5	92.1	109.2	126.0	142.5	174.8
	0.80	34.3	41.8	49.5	41.3	50.5	59.8	49.3	60.7	93.3	58.7	72.2	85.5	111.2	136.0	67.5	83.2	98.6	113.8	128.7	91.1	108.0	124.6	140.8	172.8
	0.85	32.6	39.7	47.0	39.7	48.4	57.4	47.9	58.9	90.4	57.5	70.7	83.7	108.8	132.9	66.5	82.0	97.0	112.0	126.6	90.0	106.7	123.0	139.0	170.5
	0.90	30.9	37.6	44.5	38.0	46.4	54.9	46.4	56.9	87.4	56.2	69.0	81.7	106.1	129.6	65.4	80.6	95.3	110.1	124.4	88.7	105.2	121.2	137.0	168.0
	0.95	29.2	35.5	42.0	36.3	44.2	52.4	44.7	54.9	84.2	54.8	67.3	79.5	103.3	126.1	64.2	79.0	93.5	107.9	121.9	87.4	103.6	119.3	134.8	165.2
	1.00	27.6	33.5	39.7	34.6	42.1	49.9	43.1	52.8	80.9	53.3	65.4	77.2	100.3	122.3	62.8	77.4	91.5	105.6	119.2	85.9	101.8	117.2	132.4	162.2
	1.05	26.1	31.6	37.5	32.9	40.0	47.5	41.3	50.6	77.6	51.7	63.4	74.8	97.1	118.4	61.4	75.6	89.3	103.1	116.4	84.3	99.9	115.0	129.8	159.0
	1.10	24.6	29.9	35.4	31.3	38.0	45.1	39.6	48.5	74.2	50.0	61.3	72.4	93.8	114.3	59.9	73.7	87.1	100.5	113.4	82.6	97.8	112.6	127.0	155.5
	1.15	23.3	28.2	33.4	29.7	36.1	42.8	37.9	46.4	71.0	48.3	59.2	69.8	90.5	110.1	58.3	71.7	84.7	97.8	110.2	80.8	95.6	110.0	124.0	151.8
	1.20	22.0	26.7	31.6	28.2	34.3	40.7	36.3	44.3	67.8	46.6	57.1	67.3	87.1	106.0	56.7	69.7	82.2	94.9	106.9	78.9	93.3	107.3	120.9	147.9
	1.25	20.9	25.2	29.9	26.8	32.6	38.6	34.7	42.3	64.7	44.9	54.9	64.7	83.8	101.9	55.0	67.6	79.7	92.0	103.6	76.9	90.9	104.5	117.7	144.0
	1.30	19.8	23.9	28.3	25.5	31.0	36.7	33.1	40.4	61.8	43.2	52.8	62.2	80.5	97.8	53.3	65.4	77.1	89.0	100.2	74.8	88.4	101.6	114.4	139.9
	1.35	18.8	22.7	26.9	24.3	29.4	34.9	31.6	38.6	59.0	41.5	50.8	59.8	77.3	93.9	51.6	63.3	74.6	86.1	96.8	72.7	85.9	98.7	111.1	135.7
	1.40	17.8	21.6	25.5	23.1	28.0	33.2	30.2	36.9	56.3	39.9	48.8	57.4	74.2	90.1	49.8	61.1	72.0	83.1	93.5	70.6	83.4	95.7	107.7	131.5
	1.45	17.0	20.5	24.3	22.0	26.7	31.7	28.9	35.3	53.8	38.3	46.8	55.1	71.2	86.4	48.1	59.0	69.5	80.2	90.2	68.5	80.8	92.7	104.3	127.3
	1.50	16.1	19.5	23.1	21.0	25.5	30.2	27.6	33.7	51.4	36.8	45.0	52.9	68.3	82.9	46.5	56.9	67.0	77.4	86.9	66.3	78.2	89.7	100.9	123.1
	1.60	14.7	17.8	21.0	19.2	23.2	27.6	25.3	30.9	47.1	34.0	41.5	48.8	62.9	76.3	43.2	53.0	62.3	71.9	80.7	62.1	73.2	83.9	94.3	115.0
	1.70	13.5	16.3	19.3	17.6	21.3	25.2	23.3	28.4	43.3	31.4	38.3	45.0	58.1	70.4	40.2	49.2	57.9	66.8	75.0	58.1	68.4	78.4	88.0	107.3
	1.80	12.4	14.9	17.7	16.2	19.6	23.2	21.5	26.2	39.9	29.1	35.5	41.6	53.7	65.1	37.4	45.8	53.8	62.1	69.7	54.3	63.9	73.2	82.2	100.1
	1.90	11.4	13.8	16.3	14.9	18.1	21.5	19.9	24.2	36.9	27.0	32.9	38.6	49.8	60.4	34.9	42.7	50.1	57.8	64.9	50.7	59.7	68.4	76.7	93.5
	2.00	10.6	12.8	15.1	13.8	16.8	19.9	18.4	22.5	34.2	25.1	30.6	35.9	46.3	56.1	32.5	39.8	46.7	53.9	60.5	47.5	55.9	64.0	71.7	87.3
	2.10	9.84	11.9	14.1	12.9	15.6	18.5	17.2	20.9	31.9	23.4	28.5	33.5	43.2	52.3	30.4	37.2	43.7	50.4	56.5	44.5	52.3	59.9	67.2	81.8
	2.20	9.2	11.1	13.1	12.0	14.6	17.3	16.0	19.5	29.7	21.9	26.7	31.3	40.4	48.9	28.5	34.8	40.9	47.2	52.9	41.7	49.1	56.2	63.0	76.7 ①
	2.30				11.2	13.6	16.2	15.0	18.3	27.8	20.5	25.0	29.3	37.8	45.8	26.7	32.7	38.4	44.3	49.6	39.2	46.1	52.8	59.2	72.0 ②
	2.40				10.6	12.8	15.2	14.1	17.2	26.1	19.3	23.5	27.6	35.5	43.0	25.1	30.7	36.1	41.6	46.7	36.9	43.4	49.7	55.7	67.8
	2.50							13.3	16.2	24.6	18.1	22.1	25.9	33.4	40.5	23.7	29.0	34.0	39.2	44.0	34.8	41.0	46.8	52.5	63.9
	2.60							12.5	15.2	23.2	17.1	20.9	24.5	31.6	38.2	22.4	27.3	32.1	37.0	41.5	32.9	38.7	44.3	49.6	60.3
	2.70							11.8	14.4	21.9	16.2	19.7	23.1	29.8	36.1	21.2	25.9	30.4	35.0	39.3	31.2	36.6	41.9	46.9	57.1
	2.80										15.3	18.7	21.9	28.3	34.2	20.1	24.5	28.8	33.2	37.2	29.5	34.7	39.7	44.5	54.1
	2.90										14.6	17.7	20.8	26.8	32.5	19.0	23.3	27.3	31.5	35.3	28.1	33.0	37.7	42.3	51.4
	3.00										13.8	16.9	19.8	25.5	30.9	18.1	22.1	26.0	30.0	33.6	26.7	31.4	35.9	40.2	48.9

③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L80					L90					L100							L110				
		5	6	7	8	10	6	7	8	10	12	6	7	8	10	12	14	16	7	8	10	12	14
		面积 A (cm^2)																					
		7.91	9.4	10.86	12.30	15.13	10.64	12.3	13.94	17.17	20.31	11.93	13.8	15.64	19.26	22.8	26.26	29.63	15.2	17.24	21.26	25.20	29.06
	1.0	93.7	111	128	145	178	130	150	170	208	246	148	171	194	239	282	325	366	191	217	267	316	365
	1.10	90.7	107	124	140	172	127	146	166	203	240	146	168	191	234	277	319	359	189	214	264	312	360
	1.20	87.2	103	119	134	165	123	142	161	197	233	143	165	187	229	271	312	351	186	211	259	307	354
	1.30	83.4	98.8	114	128	157	119	137	156	191	225	140	161	182	224	264	304	342	183	207	255	301	347
	1.40	79.3	93.8	108	122	149	115	132	150	183	216	136	157	177	217	257	295	332	179	205	249	295	339
	1.50	75.1	88.7	102	115	140	110	127	144	175	207	132	152	172	210	248	285	321	175	198	243	287	331
	1.60	70.8	83.6	96.0	108	132	105	121	137	167	197	127	146	166	203	239	274	309	170	193	236	279	321
	1.70	66.6	78.6	90.2	101	124	100	115	130	159	187	122	141	159	194	229	263	296	165	187	229	270	311
	1.80	62.5	73.8	84.6	95.1	116	95.2	109	123	150	177	117	135	152	186	219	251	282	160	181	221	261	300
	1.90	58.7	69.2	79.3	89.2	109	90.2	103	117	142	167	112	129	145	177	209	240	269	154	174	213	251	288
	2.00	55.1	64.9	74.4	83.6	102	85.3	97.4	110	134	158	107	123	139	169	199	228	256	148	167	205	241	277
	2.10	51.7	61.0	69.9	78.5	95.7	80.6	92.0	104	127	149	102	117	132	161	189	217	243	142	160	196	231	265
	2.20	48.7	57.3	65.7	73.7	89.9	76.2	86.9	98.5	120	140	96.7	111	125	153	180	206	231	136	154	188	220	253
	2.30	45.8	54.0	61.8	69.4	84.6	72.1	82.1	93.1	113	133	91.9	106	119	145	171	195	219	130	147	179	211	242
	2.40	43.2	50.9	58.3	65.4	79.7	68.2	77.7	88.0	107	125	87.4	100	113	138	162	185	208	124	140	171	201	230
	2.50	40.8	48.0	55.0	61.7	75.2	64.6	73.5	83.3	101	119	83.1	95.5	108	131	154	176	197	119	134	163	192	220
	2.60	38.6	45.4	52.0	58.4	71.1	61.2	69.7	79.0	95.7	112	79.0	90.8	102	124	146	167	187	113	128	156	183	210
	2.70	36.5	43.0	49.2	55.3	67.4	58.1	66.1	74.9	90.8	107	75.2	86.4	97.3	118	139	159	178	108	122	149	174	200
	2.80	34.7	40.8	46.7	52.4	63.9	55.2	62.8	71.2	86.3	101	71.6	82.3	92.6	112	132	151	169	103	117	142	167	191
	2.90	32.9	38.8	44.4	49.8	60.7	52.5	59.7	67.7	82.1	96.3	68.3	78.4	88.3	107	126	144	161	98.9	111	136	159	182
	3.00	31.3	36.9	42.2	47.4	57.7	50.0	56.9	64.5	78.1	91.7	65.1	74.8	84.2	102	120	137	154	94.5	107	130	152	174
	3.10	29.9	35.2	40.2	45.1	55.0	47.7	54.3	61.5	74.5	87.4	62.2	71.4	80.4	97.6	115	131	147	90.4	102	124	145	167
	3.20	28.5	33.5	38.4	43.1	52.5	45.6	51.8	58.7	71.7	83.5	59.5	68.3	76.8	93.3	110	125	140	86.6	97.6	119	139	159
	3.30	27.2	32.0	36.7	41.2	50.1	43.6	49.5	56.1	68.0	79.8	56.9	65.3	73.5	89.2	105	120	134	83.0	93.5	114	133	153
	3.40	26.0	30.7	35.1	39.4	48.0	41.7	47.4	53.7	65.1	76.3	54.5	62.6	70.4	85.5	100	115	129	79.6	89.7	109	128	146
	3.50	24.9	29.4	33.6	37.7	46.0	39.9	45.4	51.5	62.4	73.1	52.3	60.0	67.5	81.9	96.3	110	123	76.4	86.1	105	123	140
	3.60	23.9	28.2	32.2	36.2	44.1	38.3	43.6	49.4	59.8	70.2	50.2	57.6	64.8	78.6	92.4	106	118	73.4	82.7	101	118	135
	3.70	23.0	27.0	31.0	34.7	42.3	36.8	41.8	47.4	57.4	67.4	48.2	55.3	62.3	75.5	88.7	101	114	70.5	79.5	96.7	113	130
	3.80	22.1	26.0	29.8	33.4	40.7	35.4	40.2	45.6	55.2	64.8	46.3	53.2	59.9	72.6	85.3	97.5	109	67.9	76.5	93.0	109	125
	3.90	21.2	25.0	28.6	32.1	39.1	34.0	38.7	43.9	53.1	62.3	44.6	51.2	57.6	69.9	82.1			65.3	73.6	89.6	105	120
	4.00	20.5					32.8	37.3	42.2	51.2	60.0	43.0							63.0	71.0	86.3	101	116

单面连接面

③ ②

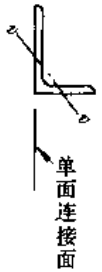
注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \alpha_x \varphi A f \quad \alpha_x = 0.6 + 0.0015\lambda \leqslant 1.0$，$\varphi$ 按 b 类

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_x = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_x = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_x = 250$ 时的界线。

12）Q235钢　一个热轧不等边角钢单面连接（长边相连）按轴心受压计算稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-16

对应轴简图	计算长度 l_{oy} (m)	L56×36×		L63×40×				L70×45×				L75×50×				L80×50×			
		4	5	4	5	6	7	4	5	6	7	5	6	8	10	5	6	7	8
		面积 A (cm^2)																	
		3.59	4.42	4.06	4.99	5.91	6.8	4.55	5.61	6.64	7.66	6.13	7.26	9.47	11.59	6.38	7.56	8.72	9.87
	0.75	26.0	32.1	33.3	40.5	47.5	54.6	41.4	50.7	59.5	68.6	60.0	70.6	91.5	111.2	62.8	74.0	84.8	95.4
	0.80	24.4	30.0	31.3	38.0	44.4	51.1	39.2	47.9	56.2	64.9	57.2	67.3	87.2	105.9	60.0	70.6	80.8	90.8
	0.85	22.9	28.2	29.3	35.5	41.6	47.9	37.1	45.3	53.1	61.2	54.5	64.1	82.9	100.6	57.2	67.2	76.9	86.4
	0.90	21.5	26.4	27.6	33.6	39.3	45.2	35.0	42.8	50.1	57.8	51.8	60.9	78.7	95.5	54.4	63.9	73.1	82.1
	0.95	20.1	24.7	26.1	31.7	37.1	42.7	33.1	40.3	47.1	54.4	49.3	57.8	74.7	90.6	51.7	60.8	69.4	77.9
	1.00	18.8	23.2	24.7	30.0	35.0	40.3	31.4	38.3	44.9	51.7	46.8	54.9	70.9	85.8	49.1	57.7	65.9	73.8
	1.05	17.6	21.7	23.3	28.3	33.0	38.0	29.9	36.4	42.6	49.2	44.4	52.0	67.1	81.4	46.7	54.7	62.5	70.0
	1.10	16.5	20.3	22.0	26.6	31.1	35.8	28.4	34.6	40.5	46.7	42.3	49.6	64.2	77.8	44.4	52.2	59.6	66.9
	1.15	15.5	19.1	20.8	25.1	29.3	33.7	27.0	32.9	38.4	44.3	40.4	47.4	61.3	74.2	42.5	49.9	57.0	63.9
	1.20	14.5	17.9	19.6	23.7	27.6	31.8	25.6	31.2	36.5	42.1	38.6	45.3	58.5	70.8	40.6	47.7	54.4	60.9
	1.25	13.7	16.8	18.5	22.4	26.0	30.0	24.3	29.6	34.6	39.9	36.9	43.2	55.8	67.5	38.8	45.5	51.9	58.1
	1.30	12.9	15.8	17.5	21.1	24.6	28.3	23.1	28.1	32.8	37.9	35.2	41.2	53.2	64.3	37.1	43.4	49.5	55.4
	1.35	12.1	14.9	16.5	20.0	23.2	26.7	22.0	26.7	31.1	35.9	33.6	39.3	50.7	61.3	35.4	41.4	47.2	52.8
	1.40	11.4	14.0	15.6	18.9	22.0	25.3	20.9	25.4	29.6	34.1	32.1	37.5	48.3	58.4	33.8	39.5	45.1	50.4
	1.45	10.8	13.3	14.8	17.9	20.8	23.8	19.8	24.1	28.1	32.4	30.6	35.8	46.1	55.7	32.2	37.7	43.0	48.0
	1.50	10.2	12.5	14.0	16.9	19.7	22.6	18.9	22.9	26.7	30.8	29.2	34.1	44.0	53.1	30.8	36.0	41.0	45.8
	1.55	9.6	11.9	13.3	16.0	18.7	21.5	17.9	21.8	25.4	29.3	27.9	32.6	41.9	50.6	29.4	34.4	39.1	43.7
	1.60	9.12	11.2	12.6	15.2	17.7	20.4	17.1	20.7	24.2	27.9	26.6	31.1	40.0	48.3	28.1	32.8	37.4	41.7
	1.65	8.65	10.6	12.0	14.5	16.8	19.3	16.3	19.8	23.0	26.5	25.4	29.7	38.2	46.1	26.8	31.4	35.7	39.8
	1.70	8.21	10.1	11.4	13.8	16.0	18.4	15.5	18.8	21.9	25.3	24.3	28.4	36.5	44.1	25.7	30.0	34.1	38.1
	1.75	7.81	9.61	10.9	13.1	15.2	17.5	14.8	18.0	20.9	24.1	23.3	27.2	34.9	42.1	24.6	28.7	32.6	36.4
	1.80	7.43	9.14	10.4	12.5	14.5	16.7	14.2	17.2	20.0	23.0	22.3	26.0	33.4	40.3	23.5	27.5	31.2	34.8
	1.85	7.07	8.71	9.89	11.9	13.8	15.9	13.5	16.4	19.1	22.0	21.3	24.9	32.0	38.5	22.5	26.3	29.9	33.3
	1.90	6.75	8.31	9.44	11.4	13.2	15.2	12.9	15.7	18.2	21.0	20.4	23.8	30.6	36.9	21.6	25.2	28.6	31.9
	1.95	6.4	7.9	9.02	10.9	12.6	14.5	12.4	15.0	17.5	20.1	19.6	22.8	29.3	35.4	20.7	24.2	27.4	30.6
	2.00			8.63	10.4	12.1	13.9	11.9	14.4	16.7	19.3	18.8	21.9	28.1	33.9	19.8	23.2	26.3	29.3
	2.10			7.91	9.5	11.1	12.7	10.9	13.2	15.4	17.7	17.3	20.2	25.9	31.2	18.3	21.4	24.3	27.0
	2.20			7.28				10.1	12.2	14.2	16.3	16.0	18.7	24.0	28.9	16.9	19.7	22.4	25.0
	2.30							9.30	11.3	13.1	15.1	14.8	17.3	22.2	26.7	15.7	18.3	20.8	23.1
	2.40							8.6	10.4	12.1	14.0	13.8	16.1	20.6	24.8	14.6	17.0	19.3	21.5
	2.50											12.8	14.9	19.2	23.1	13.6	15.8	17.9	20.0

单面连接面

① ② ③

续表

对应轴简图	计算长度 l_{ox} (m)	L90×56×				L100×63×				L100×80×				L110×70×				L125×80×			
		5	6	7	8	6	7	8	10	6	7	8	10	6	7	8	10	7	8	10	12
		面积 A (cm^2)																			
		7.21	8.56	9.88	11.18	9.62	11.11	12.58	15.47	10.64	12.3	13.94	17.17	10.64	12.3	13.94	17.17	14.1	15.99	19.71	23.35
	1.00	61.8	72.9	84.1	94.5	90.7	104	118	143	116	133	151	185	108	125	141.2	172	155	175	215	253
	1.05	59.1	69.6	80.4	90.2	87.3	100	113	138	113	129	147	179	105	121	136.7	167	151	171	210	247
	1.10	56.5	66.5	76.7	86.1	84.0	96.4	109	132	110	126	143	174	101	117	132.2	161	147	166	204	240
	1.15	53.9	63.5	73.2	82.1	80.7	92.6	105	127	107	122	139	169	98.0	113	127.8	156	143	161	198	233
	1.20	51.5	60.5	69.9	78.5	77.5	88.9	101	122	104	119	135	164	94.7	109	123.4	150	139	157	193	226
	1.25	49.4	58.2	67.2	75.4	74.4	85.3	96.5	117	101	115	131	159	91.4	105	119.0	145	135	152	187	220
	1.30	47.5	55.9	64.5	72.4	71.4	81.8	92.6	112	97.5	112	127	154	88.2	101	115	140	131	148	182	213
	1.35	45.6	53.7	61.9	69.4	68.4	78.4	88.8	108	94.6	108	123	150	85.0	97.7	111	135	127	143	176	207
	1.40	43.8	51.5	59.4	66.6	66.0	75.7	85.7	104	91.6	105	119	145	82.0	94.1	107	130	123	139	171	200
	1.45	42.0	49.4	57.0	63.9	63.7	73.1	82.7	100	88.8	101	115	140	79.0	90.7	103	125	120	135	165	194
	1.50	40.3	47.4	54.7	61.2	61.5	70.5	79.8	96.5	85.9	98.2	111	136	76.1	87.3	98.9	120	116	131	160	188
	1.55	38.7	45.4	52.4	58.7	59.3	67.9	76.9	93.0	83.2	95.0	108	131	73.6	84.6	95.8	116	112	126	155	181
	1.60	37.1	43.6	50.3	56.3	57.2	65.5	74.1	89.6	80.5	91.9	104	127	71.3	81.9	92.8	113	109	122	150	176
	1.70	34.1	40.1	46.3	51.7	53.1	60.8	68.8	83.0	75.3	86.1	97.6	119	66.9	76.7	87.0	106	102	115	140	164
	1.80	31.5	36.9	42.6	47.6	49.3	56.4	63.9	77.0	71.2	81.3	92.2	112	62.6	71.8	81.4	98.7	96.0	108	133	155
	1.90	29.0	34.0	39.3	43.9	45.8	52.4	59.3	71.4	67.2	76.7	87.0	106	58.6	67.2	76.2	92.2	90.8	102	125	147
	2.00	26.8	31.5	36.3	40.5	42.6	48.7	55.1	66.3	63.4	72.3	82.0	100	54.9	62.9	71.2	86.2	85.8	96.6	118	138
	2.10	24.8	29.1	33.6	37.5	39.6	45.3	51.2	61.6	59.8	68.2	77.2	93.7	51.3	58.8	66.7	80.6	81.0	91.2	112	130
	2.20	23.0	27.0	31.2	34.8	36.9	42.2	47.7	57.4	56.4	64.2	72.8	88.2	48.1	55.1	62.4	75.4	76.4	86.0	105	123
	2.30	21.4	25.1	28.9	32.3	34.4	39.3	44.5	53.5	53.2	60.5	68.5	83.1	45.1	51.6	58.5	70.6	72.1	81.1	99.2	116
	2.40	19.9	23.4	27.0	30.1	32.2	36.7	41.6	49.9	50.1	57.0	64.6	78.3	42.3	48.4	54.8	66.2	68.0	76.5	93.6	109
	2.50	18.6	21.8	25.1	28.1	30.1	34.4	38.9	46.7	47.3	53.8	60.9	73.8	39.7	45.4	51.5	62.1	64.2	72.3	88.3	103
	2.60	17.4	20.4	23.5	26.2	28.2	32.2	36.5	43.7	44.6	50.7	57.5	69.6	37.3	42.7	48.4	58.4	60.7	68.2	83.4	97.1 ①
	2.70	16.3	19.1	22.0	24.5	26.5	30.2	34.2	41.0	42.2	47.9	54.3	65.7	35.1	40.2	45.5	54.9	57.4	64.5	78.8	91.7
	2.80	15.3	17.9	20.6	23.0	24.9	28.4	32.2	38.6	39.9	45.3	51.3	62.0	33.1	37.9	42.9	51.7	54.3	61.0	74.5	86.7
	2.90	14.4	16.8	19.4	21.6	23.4	26.7	30.3	36.3	37.7	42.8	48.5	58.7	31.2	35.7	40.5	48.8	51.4	57.8	70.6	82.1
	3.00	13.5	15.8	18.3	20.4	22.1	25.2	28.5	34.2	35.8	40.6	46.0	55.6	29.5	33.7	38.2	46.1	48.7	54.7	66.8	77.7
	3.10					20.9	23.8	26.9	32.3	33.9	38.5	43.6	52.6	27.9	31.9	36.2	43.6	46.2	51 9	63.4	73.7
	3.20					19.7	22.5	25.5	30.5	32.2	36.5	41.4	49.9	26.4	30.2	34.2	41.2	43.9	49.3	60.2	69.9
	3.30					18.7	21.3	24.1	28.9	30.6	34.7	39.3	47.4	25.1	28.7	32.5	39.1	41.7	46.8	57.2	66.4
	3.40					17.7	20.2	22.9		29.1	33.0	37.3	45.1	23.8	27.2	30.8	37.1	39.7	44.5	54.4	63.2 ②
	3.50									27.7	31.4	35.5	42.9	22.6	25.8	29.3	35.2	37.8	42.4	51.8	60.1

③

单面连接面

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \alpha_y \varphi A f \quad \alpha_y = 0.70 \quad \varphi$ 按 C 类

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

13）Q235钢 一个不等边角钢单面连接（短边相连）按轴心受压计算稳定时的承载力设计值（kN）

表 19-17

对应轴简图	计算长度 l_{ox}（m）	L56×36×		L63×40×				L70×45×				L75×50×				L80×50×			
		4	5	4	5	6	7	4	5	6	7	5	6	8	10	5	6	7	8
		面积 A（cm^2）																	
		3.59	4.42	4.06	4.99	5.91	6.8	4.55	5.61	6.64	7.66	6.13	7.26	9.47	11.59	6.38	7.56	8.72	9.87
	0.75	27.5	33.9	34.0	41.4	48.7	56.0	40.8	50.0	58.9	67.9	57.6	67.9	88.3	107.6	60.2	71.0	81.6	92.0
	0.80	26.3	32.4	32.5	39.6	46.5	53.5	39.4	48.2	56.7	65.4	55.9	65.9	85.5	104.2	58.4	68.9	79.1	89.1
	0.85	25.3	31.1	31.0	37.8	44.4	51.1	37.9	46.4	54.5	62.9	54.1	63.8	82.7	100.7	56.6	66.7	76.6	86.2
	0.90	24.2	29.8	29.8	36.4	42.8	49.2	36.4	44.6	52.4	60.4	52.3	61.6	79.9	97.2	54.8	64.5	74.0	83.3
	0.95	23.1	28.4	28.8	35.0	41.2	47.3	35.0	42.8	50.2	57.9	50.5	59.5	77.1	93.7	52.9	62.3	71.4	80.3
	1.00	22.1	27.2	27.7	33.7	39.5	45.5	33.7	41.3	48.6	56.0	48.7	57.3	74.3	90.2	51.1	60.1	68.9	77.4
	1.05	21.1	25.9	26.6	32.4	37.9	43.7	32.6	39.9	46.9	54.1	47.0	55.2	71.5	87.0	49.2	57.9	66.3	74.5
	1.10	20.1	24.8	25.5	31.1	36.4	41.9	31.5	38.6	45.3	52.3	45.5	53.5	69 4	84.4	47.6	56.1	64.3	72.3
	1.15	19.2	23.7	24.5	29.8	34.9	40.2	30.5	37.2	43.7	50.4	44.1	51.9	67.3	81.8	46.2	54.4	62.4	70.1
	1.20	18.4	22.6	23.5	28.6	33.5	38.5	29.4	35.9	42.1	48.6	42.8	50.3	65.2	79.2	44.8	52.8	60.5	67.9
	1.25	17.6	21.6	22.6	27.5	32.1	37.0	28.4	34.6	40.6	46.9	41.5	48.7	63.1	76.6	43.5	51.1	58.5	65.8
	1.30	16.8	20.7	21.7	26.4	30.8	35.5	27.3	33.4	39.1	45.2	40.2	47.2	61.1	74.1	42.1	49.5	56.7	63.6
	1.35	16.1	19.9	20.9	25.3	29.6	34.1	26.4	32.2	37.7	43.5	38.9	45.7	59.1	71.7	40.8	47.9	54.8	61.6
	1.40	15.5	19.0	20.0	24.3	28.4	32.7	25.4	31.0	36.4	41.9	37.6	44.2	57.1	69.3	39.5	46.4	53.1	59.5
	1.45	14.8	18.3	19.3	23.4	27.3	31.5	24.5	29.9	35.1	40.4	36.4	42.7	55.2	67.0	38.2	44.9	51.3	57.6
	1.50	14.3	17.6	18.6	22.5	26.3	30.3	23.7	28.9	33.8	39.0	35.2	41.3	53.4	64.8	37.0	43.4	49.6	55.7
	1.55	13.7	16.9	17.9	21.7	25.3	29.1	22.9	27.9	32.6	37.6	34.1	40.0	51.7	62.6	35.8	42.0	48.0	53.8
	1.60	13.0	16.0	17.2	20.9	24.4	28.1	22.1	26.9	31.5	36.3	33.0	38.7	50.0	60.6	34.7	40.7	46.5	52.1
	1.65	12.4	15.2	16.6	20.1	23.5	27.1	21.3	26.0	30.4	35.1	31.9	37.4	48.4	58.6	33.6	39.4	45.0	50.4
	1.70	11.7	14.4	16.0	19.4	22.7	26.1	20.6	25.1	29.4	33.9	30.9	36.3	46.8	56.7	32.5	38.1	43.6	48.8
	1.75	11.2	13.7	15.5	18.7	21.7	25.0	19.9	24.3	28.4	32.8	30.0	35.1	45.3	54.9	31.5	36.9	42.2	47.3
	1.80	10.6	13.1	14.8	17.8	20.7	23.8	19.3	23.5	27.5	31.7	29.0	34.0	43.9	53.2	30.5	35.8	40.9	45.8
	1.85	10.1	12.4	14.1	17.0	19.8	22.7	18.7	22.8	26.6	30.7	28.2	33.0	42.6	51.6	29.6	34.7	39.6	44.4
	1.90	9.64	11.9	13.5	16.2	18.9	21.7	18.1	22.1	25.8	29.8	27.3	32.0	41.3	50.0	28.7	33.7	38.4	43.0
	1.95	9.2	11.3	12.9	15.5	18.0	20.7	17.6	21.4	24.9	28.8	26.5	31.1	40.1	48.5	27.9	32.7	37.3	41.8
	2.00	8.79	10.8	12.3	14.8	17.2	19.8	16.9	20.5	23.9	27.6	25.7	30.1	38.9	47.1	27.1	31.7	36.2	40.5
	2.10	8.04	9.90	11.3	13.6	15.8	18.2	15.6	18.9	22.0	25.3	24.3	28.5	36.7	44.4	25.6	30.0	34.2	38.3
	2.20	7.39	9.10	10.4	12.5	14.5	16.7	14.4	17.4	20.2	23.3	22.9	26.7	34.2	41.2	24.2	28.2	32.0	35.7
	2.30	6.81	8.38	9.60	11.6	13.4	15.4	13.29	16.1	18.7	21.6	21.2	24.7	31.7	38.2	22.4	26.1	29.7	33.0
	2.40	6.29	7.75	8.89	10.7	12.4	14.3	12.3	14.9	17.3	20.0	19.7	22.9	29.4	35.4	20.8	24.3	27.5	30.7
	2.50	5.83	7.18	8.25	9.92	11.5	13.2	11.4	13.9	16.1	18.6	18.3	21.3	27.4	33.0	19.4	22.6	25.6	28.5

① ② ③

续表

对应轴 简图	计算长度 l_{ox} (m)	L90×56×				L100×63×				L100×80×				L110×70×				L125×80×			
		5	6	7	8	6	7	8	10	6	7	8	10	6	7	8	10	7	8	10	12
		面积 A (cm^2)																			
		7.21	8.56	9.88	11.18	9.62	11.11	12.58	15.47	10.64	12.3	13.94	17.17	10.64	12.3	13.94	17.17	14.1	15.99	19.71	23.35
	1.00	62.1	73.4	84.7	95.4	88.3	102	115	140	107	123	139	171	102	118	134	164	142	161	198	234
	1.05	60.3	71.1	82.1	92.4	86.1	99.0	112	137	105	121	127	168	100	116	131	161	140	158	195	230
	1.10	58.4	68.9	79.5	89.5	83.9	96.5	109	133	103	119	135	165	98.3	113	128	157	138	156	192	226
	1.15	56.5	66.7	77.0	86.6	81.6	93.9	106	129	101	117	132	162	96.2	111	126	154	135	153	188	222
	1.20	54.7	64.5	74.5	83.8	79.4	91.3	103	126	100	115	130	159	94.0	108	123	150	133	150	185	218
	1.25	53.2	62.9	72.5	81.6	77.2	88.7	100	122	97.8	112	127	156	91.8	106	120	146	131	148	182	214
	1.30	51.8	61.2	70.6	79.5	75.0	86.1	97.5	119	95.8	110	125	153	89.6	103	117	143	128	145	178	210
	1.35	50.4	59.5	68.7	77.3	72.7	83.6	94.7	115	93.9	108	122	150	87.4	101	114	139	126	142	175	205
	1.40	49.1	57.9	66.8	75.1	71.1	81.7	92.5	113	91.9	106	120	146	85.1	98.0	111	135	123	139	171	201
	1.45	47.7	56.2	64.9	72.9	69.4	79.8	90.4	110	90.0	103	117	143	83.0	95.4	108	132	121	136	167	197
	1.50	46.3	54.6	63.0	70.8	67.8	77.9	88.2	107	88.0	101	114	140	80.8	92.9	105	129	118	133	164	192
	1.55	45.0	53.1	61.2	68.8	66.1	76.0	86.0	105	86.0	98.6	112	137	79.0	91.0	103	126	115	130	160	188
	1.60	43.7	51.5	59.5	66.8	64.5	74.1	83.9	102	84.1	96.4	109	133	77.4	89.1	101	123	113	127	156	184
	1.70	41.2	48.6	56.1	62.9	61.3	70.3	79.6	96.6	80.2	92.1	104	128	74.1	85.3	96.6	118	108	122	149	175
	1.80	38.9	45.8	52.9	59.3	58.2	66.7	75.6	91.6	77.3	88.7	101	123	70.9	81.5	92.4	113	104	117	144	169
	1.90	36.8	43.3	49.9	56.0	55.2	63.3	71.7	86.9	74.4	85.3	96.6	118	67.7	77.8	88.2	107	99.9	113	138	163
	2.00	34.7	40.9	47.2	52.9	52.5	60.1	68.1	82.4	71.5	81.9	92.8	113	64.6	74.2	84.1	102	96.1	108	133	156
	2.10	32.9	38.7	44.7	50.1	49.8	57.1	64.7	78.3	68.7	78.6	89.0	109	61.7	70.8	80.3	97.6	92.3	104	128	150
	2.20	31.2	36.7	42.3	47.4	47.4	54.3	61.5	74.4	65.9	75.4	85.4	104	58.9	67.6	76.6	93.1	88.7	100	123	144
	2.30	29.6	34.8	40.2	45.0	45.1	51.7	58.5	70.7	63.2	72.3	81.9	99.7	56.2	64.5	73.2	88.9	85.1	96.0	118	138
	2.40	28.1	33.1	38.2	42.8	43.0	49.2	55.7	67.4	60.6	69.3	78.5	95.6	53.7	61.7	69.9	84.9	81.7	92.2	113	132
	2.50	26.6	31.1	35.9	40.1	41.0	46.9	53.1	64.2	58.2	66.5	75.3	91.6	51.4	59.0	66.8	81.1	78.5	88.5	108	127
	2.60	24.8	29.1	33.6	37.4	39.1	44.8	50.7	61.3	55.9	63.8	72.3	87.9	49.2	56.4	63.9	77.6	75.4	85.0	104	122 ①
	2.70	23.3	27.2	31.4	35.1	37.4	42.8	48.5	58.6	53.6	61.2	69.4	84.4	47.1	54.0	61.2	74.3	72.4	81.6	100	117
	2.80	21.8	25.5	29.5	32.9	35.6	40.6	45.9	55.1	51.5	58.8	66.7	81.0	45.1	51.8	58.7	71.2	69.6	78.4	96.1	112
	2.90	20.5	24.0	27.7	30.9	33.5	38.2	43.2	51.8	49.6	56.5	64.1	77.9	43.3	49.7	56.3	68.3	67.0	75.4	92.4	108
	3.00	19.3	22.6	26.1	29.1	31.6	36.0	40.8	48.9	47.7	54.4	61.6	74.9	41.6	47.7	54.1	65.6	64.4	72.6	88.9	104
	3.10					29.8	34.0	38.5	46.1	45.9	52.4	59.3	72.1	39.9	45.6	51.7	62.2	62.1	69.9	85.6	100
	3.20					28.2	32.1	36.4	43.6	44.2	50.4	57.2	69.4	37.8	43.2	48.9	58.9	59.8	67.4	82.5	96.4
	3.30					26.7	30.4	34.5	41.3	42.7	48.6	55.1	67.0	35.8	40.9	46.4	55.8	57.7	65.0	79.6	93.0
	3.40					25.3	28.8	32.7		41.2	46.9	53.2	64.4	34.0	38.9	44.0	53.0	55.7	62.7	76.8	89.7 ②
	3.50									39.5	44.8	50.8	61.3	32.3	36.9	41.8	50.4	53.8	60.6	74.0	85.9

③

注：1. 表中的承载力设计值按下式算得：

$N = \alpha_y \varphi A f$　　$\alpha_y = 0.5 + 0.0025\lambda \leqslant 1.0$　φ 按 C 类

2. 粗黑线①为对应轴 $\lambda_y = 150$ 时的界线；粗黑线②为对应轴 $\lambda_y = 200$ 时的界线；粗黑线③为对应轴 $\lambda_y = 250$ 时的界线。

20 连接的承载力设计值

(1) 焊接连接的承载力设计值

1) 每 1cm 长直角角焊缝的承载力设计值表

表 20-1

角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm)	受压、受拉、受剪的承载力设计值 N_f^w (kN/cm)		
	采用自动焊、半自动焊和 E43××型焊条的手工焊焊接 Q235 钢构件	采用自动焊、半自动焊和 E50××型焊条的手工焊焊接 Q345 钢构件	采用自动焊、半自动焊和 E55××型焊条的手工焊焊接 Q390 钢、Q420 钢构件
3	3.36	4.20	4.62
4	4.48	5.60	6.16
5	5.60	7.00	7.70
6	6.72	8.40	9.24
8	8.96	11.20	12.32
10	11.20	14.00	15.40
12	13.44	16.80	18.48
14	15.68	19.60	21.56
16	17.92	22.40	24.64
18	20.16	25.20	27.72
20	22.40	28.00	30.80
22	24.64	30.80	33.88
24	26.88	33.60	36.96
26	29.12	36.40	40.04
28	31.36	39.20	43.12

注：1. 表中的焊缝承载力设计值按下式算得：

$N_f^w = 0.7h_f f_f^w/100$　$E_{43}f_f^w = 160\text{N/mm}^2$，$E50f_f^w = 200\text{N/mm}^2$　$E55f_f^w = 220\text{N/mm}^2$

2. 对施工条件较差的高空安装焊缝，其承载力设计值应乘系数 0.9；

3. 单角钢单面连接的直角角焊缝，其承载力设计值应按表中的数值乘以 0.85。

2) 每 1cm 长对接焊缝的承载力设计值

表 20-2

焊件的较小厚度 t (mm)	采用自动焊、半自动焊和用 E43 型焊条的手工焊焊接 Q235 钢构件				采用自动焊、半自动焊和用 E50 型焊条的手工焊焊接 Q345 钢构件				采用自动焊、半自动焊和用 E55 型焊条的手工焊焊接 Q390 钢构件			
	受压的承载力设计值 N_c^w(kN)	受拉、受弯的承载力设计值 N_t^w(kN)		受剪的承载力设计值 N_v^w(kN)	受压的承载力设计值 N_c^w(kN)	受拉、受弯的承载力设计值 N_t^w(kN)		受剪的承载力设计值 N_v^w(kN)	受压的承载力设计值 N_c^w(kN)	受拉、受弯的承载力设计值 N_t^w(kN)		受剪的承载力设计值 N_v^w(kN)
		一、二级焊缝	(三级焊缝)			一、二级焊缝	(三级焊缝)			一、二级焊缝	(三级焊缝)	
4	8.6	8.6	7.4	5.0	12.4	12.4	10.6	7.2	14.0	14.0	12.0	8.2
6	12.9	12.9	11.1	7.5	18.6	18.6	15.9	10.8	21.0	21.0	18.0	12.3

续表

焊件的较小厚度 t（mm）	采用自动焊、半自动焊和用 E43 型焊条的手工焊焊接 Q235 钢构件				采用自动焊、半自动焊和用 E50 型焊条的手工焊焊接 Q345 钢构件				采用自动焊、半自动焊和用 E55 型焊条的手工焊焊接 Q390 钢构件			
	受压的承载力设计值 N_c^w(kN)	受拉、受弯的承载力设计值 N_t^w(kN)		受剪的承载力设计值 N_v^w(kN)	受压的承载力设计值 N_c^w(kN)	受拉、受弯的承载力设计值 N_t^w(kN)		受剪的承载力设计值 N_v^w(kN)	受压的承载力设计值 N_c^w(kN)	受拉、受弯的承载力设计值 N_t^w(kN)		受剪的承载力设计值 N_v^w(kN)
		一、二级焊缝	（三级焊缝）			一、二级焊缝	（三级焊缝）			一、二级焊缝	（三级焊缝）	
8	17.2	17.2	14.8	10.0	24.8	24.8	21.2	14.4	28.0	28.0	24.0	16.4
10	21.5	21.5	18.5	12.5	31.0	31.0	26.5	18.0	35.0	35.0	30.0	20.5
12	25.8	25.8	22.2	15.0	37.2	37.2	31.8	21.6	42.0	42.0	36.0	24.6
14	30.1	30.1	25.9	17.5	43.4	43.4	37.1	25.2	49.0	49.0	42.0	28.7
16	34.4	34.4	29.6	20.0	49.6	49.6	42.4	28.8	56.0	56.0	48.0	32.8
18	36.9	36.9	31.5	21.6	53.1	53.1	45.0	30.6	60.3	60.3	51.3	34.2
20	41.0	41.0	35.0	24.0	59.0	59.0	50.0	34.0	67.0	67.0	57.0	38.0
22	45.1	45.1	38.5	26.4	64.9	64.9	55.0	37.4	73.7	73.7	62.7	41.8
24	49.2	49.2	42.0	28.8	70.8	70.8	60.0	40.8	80.4	80.4	68.4	45.6
25	51.3	51.3	43.8	30.0	73.8	73.8	62.5	42.5	83.8	83.8	71.3	47.5
26	53.3	53.3	45.5	31.2	76.7	76.7	65.0	44.2	87.1	87.1	74.1	49.4
28	57.4	57.4	49.0	33.6	82.6	82.6	70.0	47.6	93.8	93.8	79.8	53.2
30	61.5	61.5	52.5	36.0	88.5	88.5	75.0	51.0	100.5	100.5	85.5	57.0
32	65.6	65.6	56.0	38.4	94.4	94.4	80.0	54.4	107.2	107.2	91.2	60.8
34	69.7	69.7	59.5	40.8	100.3	100.3	85.0	57.8	113.9	113.9	96.9	64.6
36	73.8	73.8	63.0	43.2	95.4	95.4	81.0	55.8	113.4	113.4	97.2	64.8
38	77.9	77.9	66.5	45.6	100.7	100.7	85.5	58.9	119.7	119.7	102.6	68.4
40	82.0	82.0	70.0	48.0	106.0	106.0	90.0	62.0	126.0	126.0	108.0	72.0

注：1. 表中的焊缝承载力设计值系按下列公式算得：受压 $N_c^w = tf_c^w/100$；受拉 $N_t^w = tf_t^w/100$；受剪 $N_v^w = tf_v^w/100$

2. 对 Q235 钢，当 $t \leqslant 16$mm 时，f_c^w、f_t^w、f_v^w 分别取 215、215（185）、125N/mm²；当 $40 \geqslant t > 16$ 时，分别取 205、205（175）120N/mm²；

对 Q345 钢，当 $t \leqslant 16$mm 时，f_c^w、f_t^w、f_v^w 分别取 310、310（265）、180N/mm²；当 $35 \geqslant t > 16$ 时，分别取 295、295（250）、170N/mm²；

当 $50 \geqslant t > 35$ 时，分别取 265、265（225）、155N/mm²；

对 Q390 钢，当 $t \leqslant 16$mm 时，f_c^w、f_t^w、f_v^w 分别取 350、350（300）、205N/mm²；当 $35 \geqslant t > 16$ 时，分别取 335、335（285）、190N/mm²；

当 $50 \geqslant t > 35$ 时，分别取 315、315（270）、180N/mm²；

3. 对施工条件较差的高空安装焊缝，其承载力设计值应乘以系数 0.9

3）两个热轧等边角钢相连的直角角焊缝计算长度选用表（Q235 钢，E43 × × 型焊条）

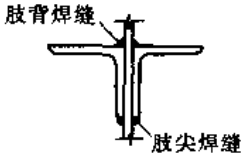


表 20-3

作用轴心力 N (kN)	焊缝的计算长度 l_w (cm) 当角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm) =																			
	4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖
50	3.9	3.2																		
60	4.7	3.2																		
80	6.3	3.2	5.0	4.0																
100	7.8	3.2	6.3	4.0	5.2	4.8														
120	9.4	4.0	7.5	4.0	6.3	4.8														
150	11.7	5.0	9.4	4.0	7.8	4.8														
180	14.1	6.0	11.3	4.8	9.4	4.8	7.0	6.4												
200	15.6	6.7	12.5	5.4	10.4	4.8	7.8	6.4												
220	17.2	7.4	13.8	5.9	11.5	4.9	8.6	6.4												
250	19.5	8.4	15.6	6.7	13.0	5.6	9.8	6.4												
280	21.9	9.4	17.5	7.5	14.6	6.3	10.9	6.4	8.8	8.0										
300	23.4	10.0	18.8	8.0	15.6	6.7	11.7	6.4	9.4	8.0										
320			20.0	8.6	16.7	7.1	12.5	6.4	10.0	8.0										
350			21.9	9.4	18.2	7.8	13.7	6.4	10.9	8.0										
380			23.8	10.1	19.8	8.5	14.8	6.4	11.9	8.0	9.9	9.6								
400			25.0	10.7	20.8	8.9	15.6	6.7	12.5	8.0	10.4	9.6								
450			28.1	12.1	23.4	10.0	17.6	7.5	14.1	8.0	11.7	9.6								
500					26.0	11.2	19.5	8.4	15.6	8.0	13.0	9.6	11.2	11.2						
550					28.6	12.3	31.5	9.2	17.2	8.0	14.3	9.6	12.3	11.2						
600					31.3	13.4	23.4	10.0	18.8	8.0	15.6	9.6	13.4	11.2						
650					33.9	14.5	25.4	10.9	20.3	8.7	16.9	9.6	14.5	11.2						
700							27.3	11.7	21.9	9.4	18.2	9.6	15.6	11.2	13.7	12.8				
750							29.3	12.6	23.4	10.0	19.5	9.6	16.7	11.2	14.6	12.8				
800							31.3	13.4	25.0	10.7	20.8	9.6	17.9	11.2	15.6	12.8				
850							33.2	14.2	26.6	11.4	22.1	9.6	19.0	11.2	16.6	12.8	14.8	14.4		
900							35.2	15.1	28.1	12.1	23.4	10.0	20.1	11.2	17.6	12.8	15.6	14.4		
950							37.1	15.9	29.7	12.7	24.7	10.6	21.2	11.2	18.6	12.8	16.5	14.4		
1000							39.1	16.7	31.3	13.4	26.0	11.2	22.3	11.2	19.5	12.8	17.4	14.4		
1100							43.0	18.4	34.4	14.7	28.6	12.3	24.6	11.2	21.5	12.8	19.1	14.4	17.2	16.0
1200							46.9	20.1	37.5	16.1	31.3	13.4	26.8	11.5	23.4	12.8	20.8	14.4	18.8	16.0
1300									40.6	17.4	33.9	14.5	29.0	12.4	25.4	12.8	22.6	14.4	20.3	16.0
1400									43.8	18.8	36.5	15.6	31.3	13.4	27.3	12.8	24.3	14.4	21.9	16.0
1500									46.9	20.1	39.1	16.7	33.5	14.3	29.3	12.8	26.0	14.4	23.4	16.0
1600									50.0	21.4	41.7	17.9	35.7	15.3	31.3	13.4	27.8	14.4	25.0	16.0
1700									53.1	22.8	44.3	19.0	37.9	16.3	33.2	14.2	29.5	14.4	26.6	16.0
1800									56.2	24.1	46.9	20.1	40.2	17.2	35.2	15.1	31.3	14.4	28.1	16.0
1900									59.4	25.4	49.5	21.2	42.4	18.2	37.1	15.9	33.0	14.4	29.7	16.0
2000											52.1	22.3	44.6	19.1	39.1	16.7	34.7	14.9	31.3	16.0

注：1. 表中的焊缝计算长度 l_w 按下列公式算得：肢背 $l_{w1}=0.7N/(2\times0.7h_f f_f^w)$；肢尖 $l_{w2}=0.3N/(2\times0.7h_f f_f^w)$。

2. 表中的焊缝计算长度 l_w 未考虑施焊时起弧和落弧的影响，实际的焊缝长度应为：$l_{wa}=l_w+2h_f$。

3. 当采用 Q345 钢，$E_{50}\times\times$ 型焊条时，焊缝计算长度 l_w 应乘以系数 0.8，但减少后的计算长度不得小于 $8h_f$ 和 40mm。

4. 对高空安装焊缝，其计算长度 l_w 应乘以系数 1.10。

4）两个热轧不等边角钢短边相连时的直角角焊缝计算长度选用表（Q235 钢，E43 × × 型焊条）

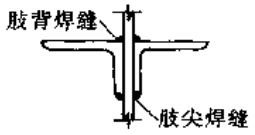


表 20-4

作用轴心力 N (kN)	焊缝的计算长度 l_w（cm）当角焊缝的焊脚尺寸 h_f（mm）=																			
	4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖
50	4.2	3.2																		
60	5.0	3.2	4.0	4.0																
80	6.7	3.2	5.4	4.0																
100	8.4	3.2	6.7	4.0	5.6	4.8														
120	10.0	3.3	8.0	4.0	6.7	4.8														
150	12.6	4.2	10.0	4.0	8.4	4.8														
180	15.1	5.0	12.1	4.0	10.0	4.8	7.5	6.4												
200	16.7	5.6	13.4	4.5	11.2	4.8	8.4	6.4												
220	18.4	6.1	14.7	4.9	12.3	4.8	9.2	6.4												
250	20.9	7.0	16.7	5.6	14.0	4.8	10.5	6.4	8.4	8.0										
280	23.4	7.8	18.8	6.3	15.6	5.2	11.7	6.4	9.4	8.0										
300			20.1	6.7	16.7	5.6	12.6	6.4	10.0	8.0										
320			21.4	7.1	17.9	6.0	13.4	6.4	10.7	8.0										
350			23.4	7.8	19.5	6.5	14.6	6.4	11.7	8.0	9.8	9.6								
380			25.4	8.5	21.2	7.1	15.9	6.4	12.7	8.0	10.6	9.6								
400			26.8	8.9	22.3	7.4	16.7	6.4	13.4	8.0	11.2	9.6								
450			30.0	10.0	25.1	8.4	18.8	6.4	15.1	8.0	12.6	9.6								
500					27.9	9.3	20.9	7.0	16.7	8.0	14.0	9.6	12.0	11.2						
550					30.7	10.2	23.0	7.7	18.4	8.0	15.3	9.6	13.2	11.2						
600					33.5	11.2	25.1	8.4	20.1	8.0	16.7	9.6	14.3	11.2						
650							27.2	9.1	21.8	8.0	18.1	9.6	15.5	11.2	13.6	12.8				
700							29.3	9.8	23.4	8.0	19.5	9.6	16.7	11.2	14.6	12.8				
750							31.4	10.5	25.1	8.4	20.9	9.6	17.9	11.2	15.7	12.8				
800							33.5	11.2	26.8	8.9	22.3	9.6	19.1	11.2	16.7	12.8	14.9	14.4		
850							35.6	11.9	28.5	9.5	23.7	9.6	20.3	11.2	17.8	12.8	15.8	14.4		
900							37.7	12.6	30.1	10.0	25.1	9.6	21.5	11.2	18.8	12.8	16.7	14.4		
950							39.8	13.3	31.8	10.6	26.5	9.6	22.7	11.2	19.9	12.8	17.7	14.4		
1000							41.9	14.0	33.5	11.2	27.9	9.6	23.9	11.2	20.9	12.8	18.6	14.4	16.7	16.0
1100							46.0	15.3	36.8	12.3	30.7	10.2	26.3	11.2	23.0	12.8	20.5	14.4	18.4	16.0
1200									40.2	13.4	33.5	11.2	28.7	11.2	25.1	12.8	22.3	14.4	20.1	16.0
1300									43.5	14.5	36.3	12.1	31.1	11.2	27.2	12.8	24.2	14.4	21.8	16.0

续表

作用轴心力 N (kN)	焊缝的计算长度 l_w (cm) 当角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm) =																			
	4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖
1400									46.9	15.6	39.1	13.0	33.5	11.2	29.3	12.8	26.0	14.4	23.4	16.0
1500									50.2	16.7	41.9	14.0	35.9	12.0	31.4	12.8	27.9	14.4	25.1	16.0
1600									53.6	17.9	44.6	14.9	38.3	12.8	33.5	12.8	29.8	14.4	26.8	16.0
1700									56.9	19.0	47.4	15.8	40.7	13.6	35.6	12.8	31.6	14.4	28.5	16.0
1800											50.2	16.7	43.0	14.3	37.7	12.8	33.1	14.4	30.1	16.0
1900											53.0	17.7	45.4	15.1	39.8	13.3	35.3	14.4	31.8	16.0
2000											55.8	18.6	47.8	15.9	41.9	14.0	37.2	14.4	33.5	16.0

注：1. 表中的焊缝计算长度 l_w 按下列公式算得：肢背 $l_{w1} = 0.75N/(2 \times 0.7h_f f_f^w)$；肢尖 $l_{w2} = 0.25N/(2 \times 0.7h_f f_f^w)$。

2. 表中的焊缝计算长度 l_w 未考虑由于施焊时起弧和落弧的影响，实际的焊缝长度应为：$l_{w2} = l_w + 2h_f$mm。

3. 当采用 Q345 钢，E50××型焊条时，焊缝计算长度 l_w 应乘以系数 0.8，但减少后的计算长度不得小于 $8h_f$ 和 40mm。

4. 对高空安装焊缝，其计算长度 l_w 应乘以系数 1.10。

5）两个热轧不等边角钢长边相连时的直角角焊缝计算长度选用表（Q235 钢，E43××型焊条）

表 20-5

作用轴心力 N (kN)	焊缝的计算长度 l_w (cm) 当角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm) =																			
	4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖
50	3.6	3.2																		
60	4.4	3.2																		
80	5.8	3.2	4.6	4.0																
100	7.3	3.9	5.8	4.0	4.8	4.8														
120	8.7	4.7	7.0	4.0	5.8	4.8														
150	10.9	5.9	8.7	4.7	7.3	4.8														
180	13.1	7.0	10.4	5.6	8.7	4.8	6.5	6.4												
200	14.5	7.8	11.6	6.3	9.7	5.2	7.3	6.4												
220	16.0	8.6	12.8	6.9	10.6	5.7	8.0	6.4												
250	18.1	9.8	14.5	7.8	12.1	6.5	9.1	6.4												

续表

作用轴心力 N (kN)	焊缝的计算长度 l_w (cm) 当角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm) =																			
	4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖	肢背	肢尖
280	20.3	10.9	16.3	8.8	13.5	7.3	10.2	6.4	8.1	8.0										
300	21.8	11.7	17.4	9.4	14.5	7.8	10.9	6.4	8.7	8.00										
320	23.2	12.5	18.6	10.0	15.5	8.3	11.6	6.4	9.3	8.0										
350			20.3	10.9	16.9	9.1	12.7	6.8	10.2	8.0										
380			22.1	11.9	18.4	9.9	13.8	7.4	11.0	8.0										
400			23.2	12.5	19.3	10.4	14.5	7.8	11.6	8.0	9.7	9.6								
450			26.1	14.1	21.8	11.7	16.3	8.8	13.1	8.0	10.9	9.6								
500			29.0	15.6	24.2	13.0	18.1	9.8	14.5	8.0	12.1	9.6								
550					26.6	14.3	19.9	10.7	16.0	8.6	13.3	9.6	11.4	11.2						
600					29.0	15.6	21.8	11.7	17.4	9.4	14.5	9.6	12.4	11.2						
650					31.4	16.9	23.6	12.7	18.9	10.2	15.7	9.6	13.5	11.2						
700					33.9	18.2	25.4	13.7	20.3	10.9	16.9	9.6	14.5	12.2						
750							27.2	14.6	21.8	11.7	18.1	9.8	15.5	11.2	13.6	12.8				
800							29.0	15.6	23.2	12.5	19.3	10.4	16.6	11.2	14.5	12.8				
850							30.8	16.6	24.7	13.3	20.6	11.1	17.6	11.2	15.4	12.8				
900							32.6	17.6	26.1	14.1	21.8	11.7	18.7	11.2	16.3	12.8	14.5	14.4		
950							34.5	18.6	27.6	14.8	23.0	12.4	19.7	11.2	17.2	12.8	15.3	14.4		
1000							36.3	19.5	29.0	15.6	24.2	13.0	20.7	11.2	18.1	12.8	16.1	14.4		
1100							39.9	21.5	31.9	17.2	26.6	14.3	22.8	12.3	19.9	12.8	17.7	14.4	16.0	16.0
1200							43.5	23.4	34.8	18.8	29.0	15.6	24.9	13.4	21.8	12.8	19.3	14.4	17.4	16.0
1300							47.2	25.4	37.7	20.3	31.4	16.9	26.9	14.5	23.6	12.8	21.0	14.4	18.9	16.0
1400									40.6	21.9	33.9	18.2	29.0	15.6	25.4	13.7	22.6	14.4	20.3	16.0
1500									43.5	23.4	36.3	19.5	31.1	16.7	27.2	14.6	24.2	14.4	21.8	16.0
1600									46.4	25.0	38.7	20.8	33.2	17.9	29.0	15.6	25.8	14.4	23.2	16.0
1700									49.3	26.6	41.1	22.1	35.2	19.0	30.8	16.6	27.4	14.8	24.7	16.0
1800									52.2	28.1	43.5	23.4	37.3	20.1	32.6	17.6	29.0	15.6	26.1	16.0
1900									55.1	29.7	45.9	24.7	39.4	21.2	34.5	18.6	30.6	16.5	27.6	16.0
2000									58.0	31.3	48.4	26.0	41.5	22.3	36.3	19.5	32.2	17.4	29.0	16.0

注：1. 表中的焊缝计算长度 l_w 按下列公式算得：肢背 $l_{w1} = 0.65N/(2 \times 0.7 h_f f_f^w)$；肢尖 $l_{w2} = 0.35N/(2 \times 0.7 h_f f_f^w)$。

2. 表的焊缝计算长度 l_w 未考虑由于施焊时起弧和落弧的影响，实际的焊缝长度应为：$l_{wa} = l_w + 2h_f$。

3. 当采用 Q345 钢，$E_{50} \times \times$ 型焊条时，焊缝计算长度 l_w 应乘以系数 0.8，但减少后的计算长度不得小于 $8h_f$ 和 40mm。

4. 对高空安装焊缝，其计算长度 l_w 应乘以系数 1.10。

(2) 普通螺栓的承载力设计值

一个普通C级螺栓的承载力设计值（Q235） 表 20-6

螺栓直径 d（mm）	螺栓毛截面面积 A（cm^2）	螺栓有效截面面积 A_e（cm^2）	构件钢材的钢号	承压的承载力设计值 N_c^b（kN） 当承压板的厚度 t（mm）为 5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	受拉的承载力设计值 N_t^b（kN）	受剪的承载力设计值 N_v^b（kN） 单剪	双剪
12	1.131	0.84	Q235钢	18.3	22.0	25.6	29.3	36.6	43.9	51.2	58.6	65.9	73.2	14.3	15.8	31.7
			Q345钢	23.1	27.7	32.3	37.0	46.2	55.4	64.7	73.9	83.2	92.4			
			Q390钢	24.0	28.8	33.6	38.4	48.0	57.6	67.2	76.8	86.4	96.0			
14	1.539	1.15	Q235钢	21.4	25.6	29.9	34.2	42.7	51.2	59.8	68.3	76.9	85.4	19.6	21.6	43.1
			Q345钢	27.0	32.3	37.7	43.1	53.9	64.7	75.5	86.2	97.0	107.8			
			Q390钢	28.0	33.6	39.2	44.8	56.0	67.2	78.4	89.6	100.8	112.0			
16	2.011	1.57	Q235钢	24.4	29.3	34.2	39.0	48.8	58.6	68.3	78.1	87.8	97.6	26.7	28.1	56.3
			Q345钢	30.8	37.0	43.1	49.3	61.6	73.9	86.2	98.6	110.9	123.2			
			Q390钢	32.0	38.4	44.8	51.2	64.0	76.8	89.6	102.4	115.2	128.0			
18	2.545	1.93	Q235钢	27.5	32.9	38.4	43.9	54.9	65.9	76.9	87.8	98.8	109.8	32.8	35.6	71.3
			Q345钢	34.7	41.6	48.5	55.4	69.3	83.2	97.0	110.9	124.7	138.6			
			Q390钢	36.0	43.2	50.4	57.6	72.0	86.4	100.8	115.2	129.6	144.0			
20	3.142	2.45	Q235钢	30.5	36.6	42.7	48.8	61.0	73.2	85.4	97.6	109.8	122.0	41.7	44.0	88.0
			Q345钢	38.5	46.2	53.9	61.6	77.0	92.4	107.8	123.2	138.6	154.0			
			Q390钢	40.0	48.0	56.0	64.0	80.0	96.0	112.0	128.0	144.0	160.0			
22	3.801	3.03	Q235钢	33.6	40.3	47.0	53.7	67.1	80.5	93.9	107.4	120.8	134.2	51.5	53.2	106.4
			Q345钢	42.4	50.8	59.3	67.8	84.7	101.6	118.6	135.5	152.5	169.4			
			Q390钢	44.0	52.8	61.6	70.4	88.0	105.6	123.2	140.8	158.4	176.0			
24	4.524	3.53	Q235钢	36.6	43.9	51.2	58.6	73.2	87.8	102.5	117.1	131.8	146.4	60.0	63.3	126.7
			Q345钢	46.2	55.4	64.7	73.9	92.4	110.9	129.4	147.8	166.3	184.8			
			Q390钢	48.0	57.6	67.2	76.8	96.0	115.2	134.4	153.6	172.8	192.0			
27	5.726	4.59	Q235钢	41.2	49.4	57.6	65.9	82.4	98.8	115.3	131.8	148.2	164.7	78.0	80.2	160.3
			Q345钢	52.0	62.4	72.8	83.2	104.0	124.7	145.5	166.3	187.1	207.0			
			Q390钢	54.0	64.8	75.6	86.4	108.0	129.6	151.2	172.8	194.4	216.0			
30	7.069	5.61	Q235钢	45.8	54.9	64.1	73.2	91.5	109.8	128.1	146.4	164.7	183.0	95.4	99.0	197.9
			Q345钢	57.8	69.3	80.9	92.4	115.5	138.6	161.7	184.8	207.9	231.0			
			Q390钢	60.0	72.0	84.0	96.0	120.0	144.0	168.0	192.0	216.0	240.0			

注：1. 表中螺栓的承载力设计值系按下列公式算得：

承压 $N_c^b = d\Sigma t f_c^b$；受拉 $N_t^b = A_e f_t^b$；受剪 $N_v^b = n_v A f_v^b$

式中 n_v—每个螺栓的受剪受女面数目；

2. 单角钢单面连接的螺栓，其承载力设计值应按表中的数值乘以0.85；

3. f_c^b 对于Q235、Q345、Q390钢材分别为305、385、400N/mm²；

f_t^b、f_v^b—对于4.6或4.8级分别为170、140N/mm²。

(3) 高强度螺栓的承载力设计值　附表 5.58、5.59

1) 一个高强度螺栓摩擦型连接的承载力设计值

摩　擦　型　连　接　　表 20-7

螺栓的性能等级	构件钢材的钢号	构件在连接处接触面的处理方法	μ	抗剪的承载力设计值 N_v^b (kN)											
				单　剪						双　剪					
				当螺栓直径 d (mm) 为											
				16	20	22	24	27	30	16	20	22	24	27	30
8.8级	Q235钢	喷砂（丸）	0.45	32.4	50.6	60.8	70.9	93.2	113.4	64.8	101.3	121.5	141.8	186.3	226.8
		喷砂后涂无机富锌漆	0.35	25.2	39.4	47.3	55.1	72.5	88.2	50.4	78.8	94.5	110.3	144.9	176.4
		喷砂后生赤锈	0.45	32.4	50.6	60.8	70.9	93.2	113.4	64.8	101.3	121.5	141.8	186.3	226.8
		钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	21.6	33.8	40.5	47.3	62.1	75.6	43.2	67.5	81.0	94.5	124.2	151.2
	Q345钢 Q390钢	喷砂（丸）	0.50	36.0	56.3	67.5	78.8	103.5	126.0	72.0	112.5	135.0	157.5	207.0	252.0
		喷砂后涂无机富锌漆	0.40	28.8	45.0	54.0	63.0	82.8	100.8	57.6	90.0	108.0	126.0	165.6	201.6
		喷砂后生赤锈	0.50	36.0	56.3	67.5	78.8	103.5	126.0	72.0	112.5	135.0	157.5	207.0	252.0
		钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.35	25.2	39.4	47.3	55.1	72.5	88.2	50.4	78.8	94.5	110.3	144.9	176.4
	Q430钢	喷砂（丸）	0.50	36.0	56.3	67.5	78.8	103.5	126.0	72.0	112.5	135.0	157.5	207.0	252.0
		喷砂后涂无机富锌漆	0.40	28.8	45.0	54.0	63.0	82.8	100.8	57.6	90.0	108.0	126.0	165.6	201.6
		喷砂后生赤锈	0.50	36.0	56.3	67.5	78.8	103.5	126.0	72.0	112.5	135.0	157.5	207.0	252.0
		钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.40	28.8	45.0	54.0	63.0	82.8	100.8	57.6	90.0	108.0	126.0	165.6	201.6

续表

螺栓的性能等级	构件钢材的钢号	构件在连接处接触面的处理方法	μ	抗剪的承载力设计值 N_v^b（kN）											
				单剪						双剪					
				当螺栓直径 d（mm）为											
				16	20	22	24	27	30	16	20	22	24	27	30
10.9级	Q235钢	喷砂（丸）	0.45	40.5	62.8	77.0	91.1	117.5	143.8	81.0	125.6	153.9	182.3	234.9	287.6
		喷砂后涂无机富锌漆	0.35	31.5	48.8	59.9	70.9	91.4	111.8	63.0	97.7	119.7	141.8	182.7	223.7
		喷砂后生赤锈	0.45	40.5	62.8	77.0	91.1	117.5	143.8	81.0	125.6	153.9	182.3	234.9	287.6
		钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	27.0	41.9	51.3	60.8	78.3	95.9	54.0	83.7	102.6	121.5	156.6	191.7
	Q345钢 Q390钢	喷砂（丸）	0.50	45.0	69.8	85.5	101.3	130.5	159.8	90.0	139.5	171.0	202.5	261.0	319.5
		喷砂后涂无机富锌漆	0.40	36.0	55.8	68.4	81.0	104.4	127.8	72.0	111.6	136.8	162.0	208.0	255.6
		喷砂后生赤锈	0.50	45.0	69.8	85.5	101.3	130.5	159.8	90.0	139.5	171.0	202.5	261.0	319.5
		钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.35	31.5	48.8	59.9	70.9	91.4	111.8	63.0	97.7	119.7	141.8	182.7	223.7
	Q420钢	喷砂（丸）	0.50	45.0	69.8	85.5	101.3	130.5	159.8	90.0	139.5	171.0	202.5	261.0	319.5
		喷砂后涂无机富锌漆	0.40	36.0	55.8	68.4	81.0	104.4	127.8	72.0	111.6	136.8	162.0	208.8	255.6
		喷砂后生赤锈	0.50	45.0	69.8	85.5	101.3	130.5	159.8	90.0	139.5	171.0	202.5	261.0	319.5
		钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.40	36.0	55.8	68.4	81.0	104.4	127.8	72.0	111.6	136.8	162.0	208.8	255.6

注：1. 表中高强度螺栓受剪的承载力设计值按下式算得：

$N_v^b = 0.9 n_1 \mu P$

式中 n_1—传力的摩擦面数目；μ—摩擦系数；P—高强度螺栓的预应力。（表中 n_1 取 1）。

2. 单角钢单面连接的高强度螺栓，其承载力设计值应按表中的数值乘以 0.85。

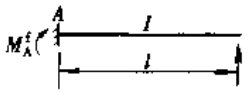
2）一个高强度螺栓承压型连接承载力设计值

承 压 型 连 接 **表 20-8**

螺栓的性能等级	螺栓直径 d（mm）	螺栓毛截面面积 A（mm^2）	螺栓有效截面面积 A_e（mm^2）	构件钢材的钢号	承压的承载力设计值 N_c^b 当承压板厚度 t（mm）为									受拉的承载力设计值 N_t^b（kN）	受剪的承载力设计值 N_v^b（kN）			
															承剪面在螺杆处		承剪面在螺纹处	
					6	7	8	10	12	14	16	18	20		单剪	双剪	单剪	双剪
8.8级	16	201.1	156.6	Q235钢	45.1	52.6	60.2	75.2	90.2	105.3	120.3	135.4	150.4	62.6	50.3	100.5	39.1	78.3
				Q345钢	56.6	66.1	75.5	94.4	113.3	132.2	151.0	169.9	188.8					
				Q390钢	59.0	68.9	78.7	98.4	118.1	137.8	157.4	177.1	196.8					
	20	314.2	244.7	Q235钢	56.4	65.8	75.2	94.0	112.8	131.6	150.4	169.2	188.0	97.9	78.5	157.1	61.2	122.3
				Q345钢	70.8	82.6	94.4	118.0	141.6	165.2	188.8	212.4	236.0					
				Q390钢	73.8	86.1	98.4	123.0	147.6	172.2	196.8	221.4	246.0					
	22	380.1	303.3	Q235钢	62.0	72.4	82.7	103.4	124.1	144.8	165.4	186.1	206.8	121.3	95.0	190.1	75.8	151.6
				Q345钢	77.9	90.9	103.8	129.8	155.8	181.7	207.7	233.6	259.6					
				Q390钢	81.2	94.7	108.2	135.3	162.4	189.4	216.5	243.5	270.6					
	24	452.4	352.7	Q235钢	67.7	79.0	90.2	112.8	135.4	157.9	180.5	203.0	225.6	141.1	113.1	226.2	88.2	176.3
				Q345钢	85.0	99.1	113.3	141.6	169.9	198.2	226.6	254.9	283.2					
				Q390钢	88.6	103.3	118.1	147.6	177.1	206.6	236.2	265.7	295.2					
	27	572.6	459.6	Q235钢	76.1	88.8	101.5	126.9	152.3	177.7	203.0	228.4	253.8	183.8	143.1	286.3	114.9	229.8
				Q345钢	95.6	111.5	127.4	159.3	191.2	223.0	254.9	286.7	318.6					
				Q390钢	99.6	116.2	132.8	166.1	199.3	232.5	265.7	298.9	332.1					
	30	706.9	560.7	Q235钢	84.6	98.7	112.8	141.0	169.2	197.4	225.6	253.8	282.0	224.3	176.7	353.4	140.2	280.4
				Q345钢	106.2	123.9	141.6	177.0	212.4	247.8	283.2	318.6	354.0					
				Q390钢	110.7	129.2	147.6	184.5	221.4	258.3	295.2	332.1	369.0					

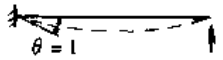
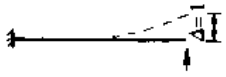
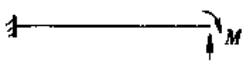
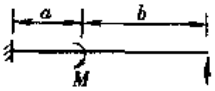
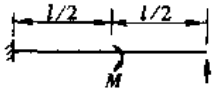
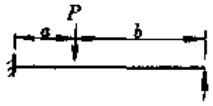
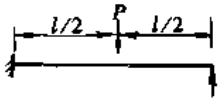
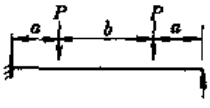
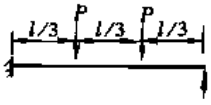
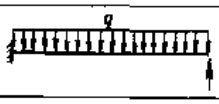
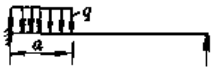
21 横梁的固端弯矩

(1) 一端固定一端铰支梁的固端弯矩计算公式

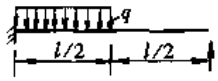
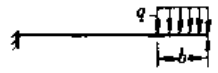
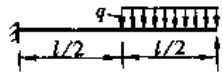
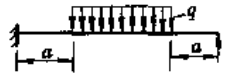
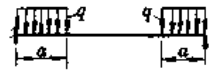
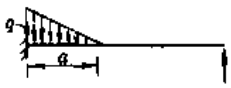
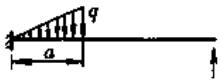
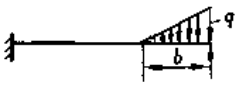
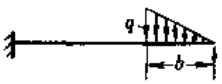
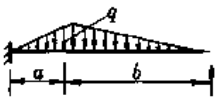
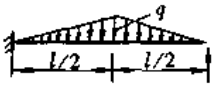


(图中所示力的方向为正值)

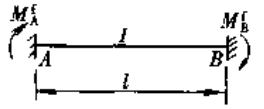
表 21-1

序号	变形或荷载图形	固端弯矩 M_A^f
1		$\frac{3EI}{l}$
2		$\frac{3EI}{l^2}$
3		$\frac{M}{2}$
4		$\frac{l^2-3b^2}{2l^2}M$
5		$\frac{M}{8}$
6		$-\frac{Pab(b+l)}{2l^2}$
7		$-\frac{3}{16}Pl$
8		$-\frac{3Pa(a+b)}{2l}$
9		$-\frac{Pl}{3}$
10		$-\frac{ql^2}{8}$
11		$-\frac{qa^2}{8l^2}(2l-a)^2$

续表

序号	变形或荷载图形	固端弯矩 M_A^f
12		$-\frac{9}{128}ql^2$
13		$-\frac{qb^2}{8l^2}(2l^2-b^2)$
14		$-\frac{7}{128}ql^2$
15		$-\frac{q'}{8l}(l^3-6a^2l+4a^2)$
16		$-\frac{qa^2}{4l}(3l-2a)$
17		$-\frac{l^2}{120}(8q_1+7q_2)$
18		$-\frac{l^2}{120}(7q_1+8q_2)$
19		$-\frac{1}{15}ql^2$
20		$-\frac{7}{120}ql^2$
21		$-\frac{qa^2}{120l^2}(20l^2-15al+3a^2)$
22		$-\frac{qa^2}{120l^2}(40l^2-45al+12a^2)$
23		$-\frac{qb^2}{120l^2}(10l^2-3b^2)$
24		$-\frac{qb^2}{30l^2}(5l^2-3b^2)$
25		$-\frac{q}{120l}(a+2b)(7l^2-3b^2)$
26		$-\frac{5}{64}ql^2$

(2) 两端固定梁的固端弯矩计算公式

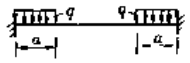
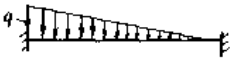
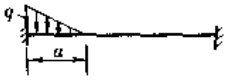
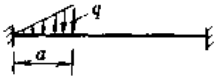
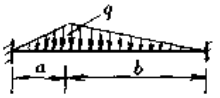


(图中所示力的方向为正值)

表 21-2

序号	变形或荷载图形	固端弯矩	
		M_A^f	M_B^f
1	$\theta=1$	$\frac{4EI}{l}$	$\frac{2EI}{l}$
2	$\Delta=1$	$-\frac{6EI}{l^2}$	$-\frac{6EI}{l^2}$
3	a, b, M	$\frac{b}{l^2}(3a-l)M$	$\frac{a}{l^2}(3b-l)M$
4	l/2, l/2, M	$\frac{M}{4}$	$\frac{M}{4}$
5	a, P, b	$-\frac{Pab^2}{l^2}$	$\frac{Pa^2b}{l^2}$
6	l/2, P, l/2	$-\frac{Pl}{8}$	$\frac{Pl}{8}$
7	P, a, b, P, a	$-\frac{Pa}{l}(a+b)$	$\frac{Pa}{l}(a+b)$
8	P, P, l/3, l/3, l/3	$-\frac{2}{9}Pl$	$\frac{2}{9}Pl$
9	q	$-\frac{1}{12}ql^2$	$\frac{1}{12}ql^2$
10	q, a	$-\frac{qa^2}{12l^2}(6l^2-8al+3a^2)$	$\frac{qa^3}{12l^2}(4l-3a)$
11	q, l/2	$-\frac{11}{192}ql^2$	$\frac{5}{192}ql^2$
12	q, a, c, b	$-\frac{q}{12l^2}\{6l^2[(a+c)^2-a^2]-8l\times[(a+c)^3-a^3]+3[(a+c)^4-a^4]\}$	$\frac{q}{12l^2}\{4l[(a+c)^3-a^3]-3\times[(a+c)^4-a^4]\}$
13	q, a, a	$-\frac{a}{12l}(l^3-6a^2l+4a^3)$	$-\frac{q}{12l}(l^3-6a^2l+4a^3)$

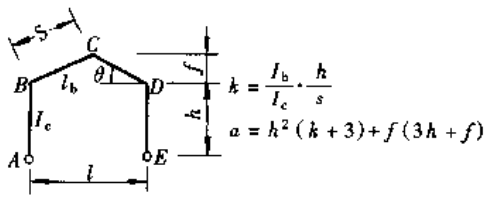
续表

序号	变形或荷载图形	固端弯矩	
		M_A^f	M_B^f
14		$-\frac{qa^2}{6l}(3l-2a)$	$\frac{qa^2}{6l}(3l-2a)$
15		$-\frac{l^2}{60}(3q_1+2q_2)$	$\frac{l^2}{60}(2q_1+3q_2)$
16		$-\frac{1}{20}ql^2$	$\frac{1}{30}ql^2$
17		$-\frac{qa^2}{60l^2}(10l^2-10al+3a^2)$	$\frac{qa^3}{60l^2}(5l-3a)$
18		$-\frac{qa^2}{30l^2}(10l^2-15al+6a^2)$	$\frac{qa^3}{20l^2}(5l-4a)$
19		$-\frac{q}{60l}[2a^2(a+4b)+3b^2(4a+b)]$	$\frac{q}{60l}[3a^2(a+4b)+2b^3(4a+b)]$
20		$-\frac{5}{96}ql^2$	$\frac{5}{96}ql^2$

22 单跨等截面门式刚架弯矩剪力计算公式

(1) 双坡门式铰接刚架计算公式

结构形式



反力符号

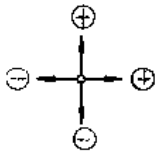
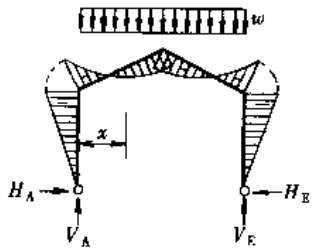
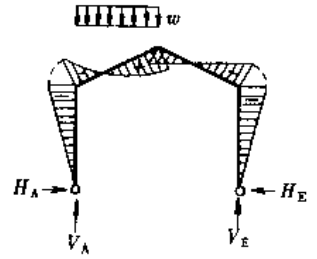
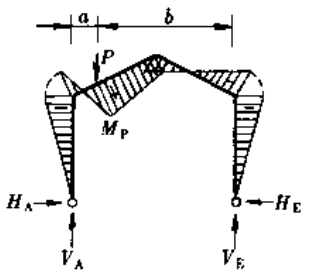
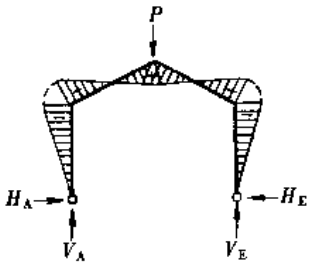
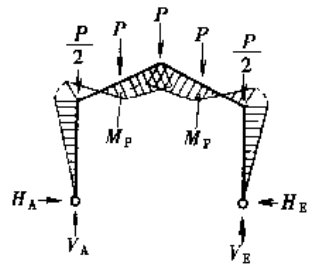
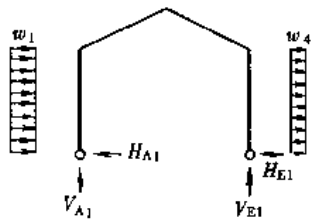
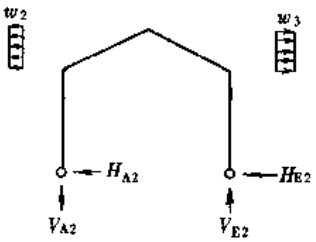
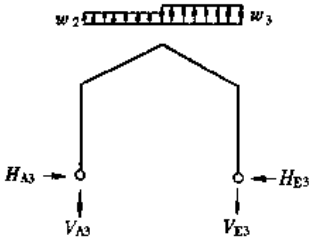


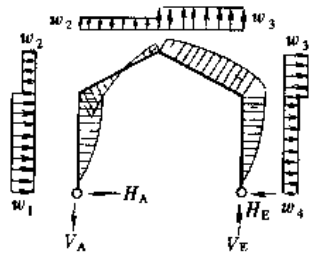
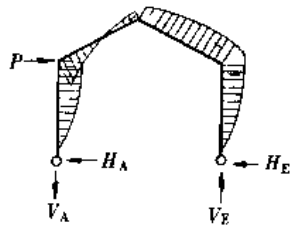
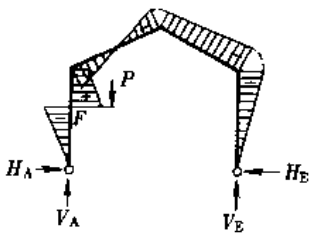
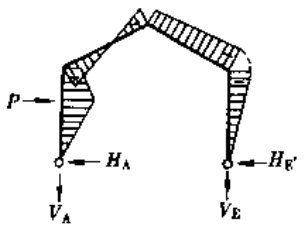
表 22-1

序号	荷载及内力简图	计 算 公 式
1		$V_A=V_E=\frac{wl}{2}$ $H=H_A=-H_E=\frac{wl^2}{32}\cdot\frac{8h+5f}{a}$ $M_B=M_D=-H_h$ $M_C=\frac{wl^2}{8}-H(h+f)$ $M_x=V_A\cdot x-H_A\left(h+\frac{2fx}{l}\right)-\frac{wx^2}{2}$
2		$V_A=\frac{3wl}{8}$，$V_E=\frac{wl}{8}$ $H=H_A=-H_E=\frac{wl^2}{64}\cdot\frac{8h+5f}{a}$ $M_B=M_D=-H_h$ $M_C=\frac{wl^2}{16}-H(h+f)$
3		$V_A=\frac{P\cdot b}{l}$，$V_E=\frac{P\cdot a}{l}$ $H=H_A=-H_E=\frac{P\cdot a}{4l^2}\cdot\frac{6hbl+f(3l^2-4a^2)}{a}$ $M_B=M_D=-H_h$ $M_C=\frac{P\cdot a}{2}-H(h+f)$ $M_P=V_A\cdot a-H\left(h+\frac{2fa}{l}\right)$

续表

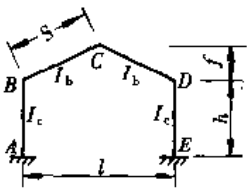
序号	荷载及内力简图	计 算 公 式
4		$V_A = V_E = \frac{P}{2}$ $H_A = -H_E = \frac{3h+2f}{a} \cdot \frac{Pl}{8}$ $M_B = M_D = -H_A h$ $M_C = \frac{Pl}{4} - \frac{(3h+2f)(h+f)}{8a} Pl$
5		$V_A = V_E = 2P$ $H_A = -H_E = \frac{Pl}{32} \cdot \frac{30h}{a} + \frac{19f}{a} = H$ $M_B = M_D = -Hh$ $M_C = \frac{Pl}{2} - H(h+f)$ $M_P = \frac{2Pl}{3} - H\left(h + \frac{f}{2}\right)$
6		$V_{A1} = -V_{E1} = -\frac{h^2}{2l}(w_1 + w_4)$ $H_{A1} = -w_1 h + \frac{5hk + 6(2h+f)}{16a} h^2 (w_1 - w_4)$ $H_{E1} = -w_4 h - \frac{5hk + 6(2h+f)}{16a} h^2 (w_1 - w_4)$
7		$V_{A2} = -V_{E2} = \frac{f(2h+f)}{2l}(w_2 - w_3)$ $H_{A2} - w_2 f - \frac{8h^2(k+3) + 5f(4h+f)}{16a} f (w_2 + w_3)$ $H_{E2} = -w_3 f + \frac{8h^2(k+3) + 5f(4h+f)}{16a} f (w_2 + w_3)$
8		$V_{A3} = -\frac{1}{8}(3w_2 + w_3)$ $V_{E3} = -\frac{1}{8}(w_2 + 3w_3)$ $H_{A3} = -H_{E3} = -\frac{8h+5f}{64a} l^2 (w_2 + w_3)$

续表

序号	荷载及内力简图	计　算　公　式
9		$V_A = V_{A1} + V_{A2} + V_{A3}$，$V_E = V_{E1} + V_{E2} + V_{E3}$ $H_A = H_{A1} + H_{A2} + H_{A3}$，$H_E = H_{E1} + H_{E2} + H_{E3}$ $M_B = -H_A h - \frac{w_1 h^2}{2}$ $M_C = -H_A (h+f) + \frac{V_A l}{2} - w_1 h\left(\frac{h}{2}+f\right) + \frac{w_2 s^2}{2}$ $M_D = H_E h + \frac{W_4 h^2}{2}$
10		$V = V_A = -V_E = -\frac{Ph}{l}$ $H_E = -\frac{Ph}{4}\cdot\frac{2hk + d^2(2h+f)}{a}$ $H_A = -P - H_E$ $M_B = -H_A h$，$M_D = H_E h$ $M_C = \frac{Ph}{2} + H_E (h+f)$
11		$V_A = \frac{P(l-e)}{l}$，$V_E = \frac{P\cdot e}{l}$ $H = H_A = -H_E = \frac{3P\cdot e}{4h}\cdot\frac{k(h^2-a^2) + h(2h+f)}{a}$ $M_{FA} = -H\cdot a$，$M_{FB} = P\cdot e - H\cdot a$ $M_B = P\cdot e - Hh$ $M_C = \frac{-P\cdot e}{2} + H(h+f)$，$M_D = -Hh$
12		$-V_A = V_E = \frac{P\cdot a}{l}$ $H_E = -\frac{P\cdot a}{4}\cdot\frac{k(3h - a^2/h) + 3(2h+f)}{a}$ $H_A = -P - H_E$ $M_F = -H_A\cdot a$ $M_B = -P(h-a) - H_A h$，$M_C = \frac{P\cdot a}{2} + H_E (h+f)$ $M_D = H_E h$

(2) 双坡门式刚接刚架计算公式

结构形式



$$k=\frac{I_b}{I_c}\cdot\frac{h}{s}$$

$$N=(kh+f)^2+4k(h^2+hf+f^2)$$

反力符号

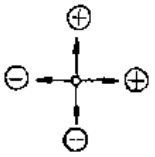
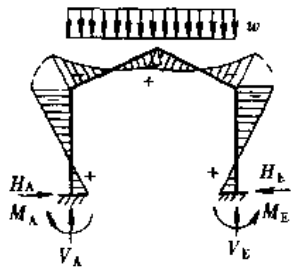
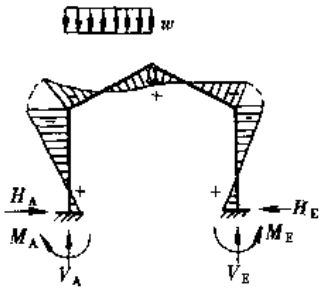
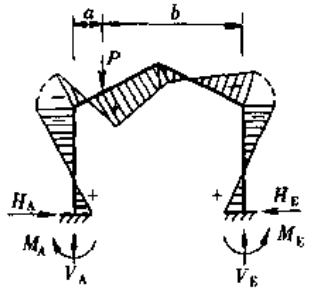
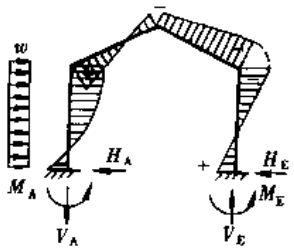
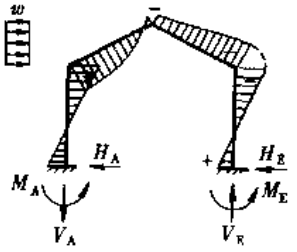
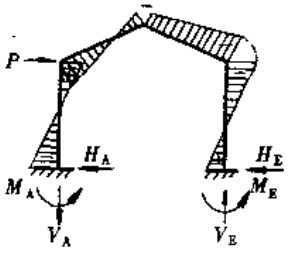


表 22-2

序号	荷载及内力简图	计 算 公 式
1		$V=V_A=V_E=\frac{wl}{2}$ $H=H_A=-H_E=\frac{wl^2}{8}\cdot\frac{k(4h+5f)+f}{N}$ $M_A=M_E=\frac{wl^2}{48}\cdot\frac{kh(8h+15f)+f(6h-f)}{N}$ $M_B=M_D=-\frac{wl^2}{48}\cdot\frac{kh(16h+15f)+f^2}{N}$ $M_C=-H(h+f)+M_A+\frac{wl^2}{8}$
2		$V_A=\frac{wl}{32}\cdot\frac{36k+13}{3k+1},V_E=\frac{wl}{32}\cdot\frac{12k+3}{3k+1}$ $H=H_A=-H_E=\frac{wl^2}{16}\cdot\frac{k(4h+5f)+f}{N}$ $M_A=\frac{wl^2}{96}\left[\frac{kh(8h+15f)+f(6h-f)}{N}-\frac{3}{2(3k+1)}\right]$ $M_E=\frac{wl^2}{96}\left[\frac{kh(8h+15f)+f(6h-f)}{N}+\frac{3}{2(3k+1)}\right]$ $M_B=-\frac{wl^2}{96}\left[\frac{kh(16h+15f)+f^2}{N}+\frac{3}{2(3k+1)}\right]$ $M_D=-\frac{wl^2}{96}\left[\frac{kh(16h+15f)+f^2}{N}+\frac{3}{2(3k+1)}\right]$ $M_C=-H(h+f)+M_E+V_E\frac{l}{2}$
3		$V_A=P-V_E,V_E=\frac{P\cdot a}{l^2}\cdot\frac{3kl^2+a(l+2b)}{3k+1}$ $H=H_A=-H_E$ $=\frac{P\cdot a}{l^2}\times\frac{3kl^2(h+f)-4a^2f(k+1)-3al(kh-f)}{N}$ $M_A=\frac{P\cdot a}{2l^2}\left[\frac{2lh^2bk+3hlf(2a+lk)-f^2l(l-4a)}{N}+\frac{-4a^2fh(k+2)-4a^2f^2}{N}-\frac{b(b-a)}{3k+1}\right]$ $M_E=\frac{P\cdot a}{2l^2}\left[\frac{2lh^2bk+3hlf(2a+lk)-f^2l(l-4a)}{N}+\frac{-4a^2fh(k+2)-4a^2f^2}{N}+\frac{b(b-a)}{3k+1}\right]$ $M_B=-Hh+M_A,M_D=-Hh+M_E$ $M_C=-H(h+f)+M_E+V_E\frac{l}{2}$ $M_P=-H\left(h+\frac{2fa}{l}\right)+M_A+V_A\cdot a$

续表

序号	荷载及内力简图	计　算　公　式
4		$V=-V_A=V_E=\frac{wh^2}{2l}\cdot\frac{k}{3k+1}$ $H_A=-wh-H_E, H_E=-\frac{wkh^2}{4}\cdot\frac{h(k+3)+2f}{N}$ $M_A=-\frac{wh^2}{24}\left[\frac{kh^2(k+6)+kf(15h+16f)+6f^2}{N}+\frac{12k+6}{3k+1}\right]$ $M_E=-\frac{wh^2}{24}\left[\frac{kh^2(k+6)+kf(15h+16f)+6f^2}{N}-\frac{12k+6}{3k+1}\right]$ $M_B=-H_Ah+M_A+\frac{wh^2}{2}, M_D=-H_Eh+M_E$ $M_C=-H_E(h+f)+M_E+V\frac{l}{2}$
5		$V=-V_A=V_E=\frac{wf}{8l}\cdot\frac{5f+12k(f+h)}{3k+1}$ $H_A=-\frac{wf}{4}\cdot\frac{2kh^2(k+4)+14khf+f^2(11k+3)}{N}$ $H_E=-\frac{wf}{4}\cdot\frac{5kf(2h+f)+2kh^2(k+4)+f^2}{N}$ $M_A=-\frac{wf}{24}\left[\frac{f\lvert kh(4h+9f)+f(6h+f)\rvert}{N}+\frac{12h(3k+2)+3f}{6k+2}\right]$ $M_E=-\frac{wf}{24}\left[\frac{f\lvert kh(4h+9f)+f(6h+f)\rvert}{N}-\frac{12h(3k+2)+3f}{6k+2}\right]$ $M_B=-H_Ah+M_A$ $M_D=-H_Eh+M_E$ $M_C=-H_E(h+f)+M_E+V_E\frac{l}{2}$
6		$V=-V_A=V_E=\frac{3Ph}{2l}\cdot\frac{k}{3k+1}$ $H_A=-P-H_E, H_E=-\frac{P\cdot k\cdot h}{2}\cdot\frac{h(k+4)+3f}{N}$ $M_A=-\frac{Ph}{2}\left[\frac{f(kh+f+2fk)}{N}+\frac{3k+2}{6k+2}\right]$ $M_E=-\frac{Ph}{2}\left[\frac{f(kh+f+2fk)}{N}-\frac{3k+2}{6k+2}\right]$ $M_B=-H_Ah+M_A, M_D=-H_Eh+M_E$ $M_C=-H_E(h+f)+M_E+V\frac{1}{2}$

第4篇　有关标准　相关内容和技　术　资　料

- 23　标准名称
- 24　材料的性能
- 25　型钢的规线距离和连接尺寸
- 26　吊车技术资料

23 标 准 名 称

（1）材料的标准

1）GB/T 699—1999	优质碳素结构钢
2）GB/T 700—1988	碳素结构钢
3）GB/T 715--1989	标准件用碳素钢热轧圆钢
4）GB/T 1591—1994	低合金高强度结构钢
5）GB/T 3077—1999	合金结构钢
6）GB/T 5117—1995	碳钢焊条
7）GB/T 5118--1995	低合金钢焊条
8）GB/T 11352—1989	一般工程用铸造碳钢件
9）GB/T 4171—1984	高耐候结构钢
10）GB/T 4172	焊接结构用耐候钢

（2）型钢、钢板的标准

1）GB/T 181—1963	每米 50 公斤钢轨形式尺寸
2）GB/T 182—1963	每米 43 公斤钢轨形式尺寸
3）GB/T 183—1963	每米 38 公斤钢轨形式尺寸
4）GB/T 702—1986	热轧圆钢和方钢尺寸、外形、重量及允许偏差
5）GB/T 704—1988	热轧扁钢尺寸、外形、重量及允许偏差
6）GB/T 706—1988	热轧工字钢尺寸、外形、重量及允许偏差
7）GB/T 707—1988	热轧槽钢尺寸、外形、重量及允许偏差
8）GB/T 708—1988	冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
9）GB/T 709—1988	热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
10）GB/T 1220—1992	不锈钢棒
11）GB/T 3277—1991	花纹钢板
12）GB/T 6723—1986	通用冷弯开口型钢尺寸、外形、重量及允许偏差
13）GB/T 6725—1992	冷弯型钢技术条件
14）GB/T 6728—1986	结构用冷弯空心型钢尺寸、外形、重量及允许偏差
15）GB/T 8162—1999	结构用无缝钢管
16）GB/T 9787—1988	热轧等边角钢　尺寸、外形、重量及允许偏差
17）GB/T 9788—1988	热轧不等边角钢　尺寸、外形、重量及允许偏差
18）GB/T 11263—1998	热轧 H 型钢的剖分 T 型钢
19）GB/T 11251—1989	合金结构钢热轧厚钢板
20）GB/T 12754—1991	彩色涂层钢板及钢带
21）GB/T 12755—1991	建筑用压型钢板

22）GB/T 13793—1992 直缝电焊钢管
23）YB/T 166—2000 冷成型用加磷高强度冷轧钢板和钢带
24）YB/T 167—2000 连续热度铝硅合金钢板和钢带
25）YB 222—63 轻轨品种
26）YB 350—630 每米 33 公斤钢轨品种
27）YB/T 4001—1988 钢格栅板
28）YB/T 4104—2000 高层建筑结构用钢板
29）YB/T 5132—1993 合金结构钢薄钢板
30）JG 8—1999 钢桁架质量标准
31）JG 9—1999 钢桁架检验及验收标准
32）JG 10—1999 钢网架 螺栓球节点
33）JG 11—1999 钢网架 焊接球节点
34）JG 12—1999 钢网架 检验及验收标准
35）JG/T 137—2001 结构用高频焊接薄壁 H 型钢
36）JG 144—2002 门式刚架轻型房屋钢构件
37）JG/T 3029—95 焊接球节点钢网架焊缝超声波探伤及质量分级法
38）GB/T 5313—1985 厚度方向性能钢板

（3）紧固件的标准

1）GB/T 41—2000 六角螺母 C 级
2）GB/T 93—1987 标准型弹簧垫圈
3）GB/T 94.1—1987 弹性垫圈技术条件 弹簧垫圈
4）GB/T 94.2—1987 弹性垫圈技术条件 齿形、锯形锁紧垫圈
5）GB/T 94.3—1987 弹性垫圈技术条件 鞍形、波形弹性垫圈
6）GB/T 95—1985 平垫圈-C 级
7）GB/T 97.1—1985 平垫圈-A 级
8）GB/T 97.2—1985 平垫圈 倒角型-A 级
9）GB/T 98—1988 止动垫圈技术条件
10）GB/T 116—2000 铆钉技术条件
11）GB/T 799—1988 地脚螺栓
12）GB/T 852—1988 工字钢用方斜垫圈
13）GB/T 853—1988 槽钢用方斜垫圈
14）GB/T 863.1—1986 半圆头铆钉（粗制）
15）GB/T 863.2—1986 小半圆头铆钉（粗制）
16）GB/T 865—1986 沉头铆钉（粗制）
17）GB/T 866—1986 半沉头铆钉（粗制）
18）GB/T 859—1987 轻型弹簧垫圈
19）GB/T 1228—1991 结构钢用高强度大六角头螺栓
20）GB/T 1229—1991 钢结构用高强度大六角螺母
21）GB/T 1230—1991 钢结构用高强度垫圈

22）GB/T 1231—1991　钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件

23）GB/T 3098.10—1993　紧固件机械性能有色金属制造的螺栓、螺钉、螺柱和螺母

24）GB/T 3098.11—1995　紧固件机械性能自钻自攻螺钉

25）GB/T 3098.12—1996　紧固件机械性能螺母锥形保证载荷试验

26）GB/T 3098.13—1996　紧固件机械性能螺栓与螺钉的扭矩试验和破坏扭矩公称直径 1～10mm

27）GB/T 3632—1995　钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副

28）GB/T 3633—1995　钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件

29）GB/T 5780—2000　六角头螺栓 C 级

30）GB/T 5782—2000　六角头螺栓

31）GB/T 6170—2000　I 型六角螺母

32）GB/T 10433—1989　圆柱头焊钉

（4）焊接接头形式与尺寸的标准

1）GB/T 985—1988　气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本型式与尺寸

2）GB/T 986—1988　埋弧焊焊缝坡口的基本型式和尺寸

3）GB/T 14957—1994　熔化焊用钢丝

4）GB/T 5293—1999　埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂

5）JB 7949—1999　钢结构焊缝外形尺寸

（5）涂料的标准

1）HG/T 2009—1991　C06-1 铁红醇酸底漆

2）HG/T 2237—1991　A01-1、A01-2 氨基烘干清漆

3）HG/T 2238—1991　F01-1 酚醛清漆

4）HG/T 2239—1991　H06-2 铁红、锌黄、铁黑环氧酯底漆

5）HG/T 2240—1991　S01-4 聚氨酯清漆

6）HG/T 2595—1994　锌黄、铁红过氯乙烯底漆

7）HG/T 2596—1994　各色过氯乙烯磁漆

8）HG/T 3345—1999　各色酚醛防锈漆

9）HG/T 3346—1999　红丹醇酸防锈漆

10）HG/T 3347—1987　X06-1 乙烯磷化底漆（分装）

11）HG/T 3349—1987　F04-1 各色酚醛磁漆

12）HG/T 3348—1987　L04-1 沥青瓷漆

13）HG/T 3355—1987　Q06-4 各色硝基底漆

14）HG/T 3358—1987　G52-31 各色过氯乙烯防腐漆

15）HG/T 3359—1987　G52-2 过氯乙烯防腐漆

16）HG/T 3364—1987　T03-1 各色酯胶调和漆

17）HG/T 3368—1987　L01-34 沥青烘干清漆

18）HG/T 3369—1987　F53-40 云铁酚醛防锈漆

24 材料的性能

(1) 材料的化学成分和力学性能

(按 GB/T 700—1988、GB/T 1591—1994)

表 24-1

牌号	等级	化学成分,%					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q195	—	0.06～0.12	0.25～0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09～0.15	0.25～0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14～0.22	0.30～0.65[1]	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12～0.20	0.30～0.70[1]		0.045		
	C	≤0.18	0.35～0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18～0.28	0.40～0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28～0.38	0.50～0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注：1.Q235A、B 级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。

表 24-2

牌号	等级	拉伸试验													冲击试验	
		屈服点 σ_s (N/mm²)						抗拉强度 σ_b (N/mm²)	伸长率 σ_5 (%)						温度 ℃	V 型冲击功(纵向)(J)
		钢材厚度(直径)(mm)							钢材厚度(直径)(mm)							
		≤16	>16～40	>40～60	>60～100	>100～150	>150		≤16	>16～40	>40～60	>60～100	>100～150	>150		
		不小于							不小于							不小于
Q195	—	(195)	(185)	—	—	—	—	315～390	33	32	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335～410	31	30	29	28	27	26	—	—
	B														20	27
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375～460	26	25	24	23	22	21	—	—
	B														20	27
	C														0	
	D														-20	
Q255	A	255	245	235	225	215	205	410～510	24	23	22	21	20	19	—	—
	B														20	27
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490～610	20	19	18	17	16	15	—	—

表 24-3

牌号	试样方向	冷弯试验　$B=2a$　180°		
		钢材厚度（直径）（mm）		
		60	>60～100	>100～200
		弯心直径 d		
Q195	纵	0	—	
	横	$0.5a$		
Q215	纵	$0.5a$	$1.5a$	$2a$
	横	a	$2a$	$2.5a$
Q235	纵	a	$2a$	$2.5a$
	横	$1.5a$	$2.5a$	$3a$
Q255		$2a$	$3a$	$3.5a$
Q275		$3a$	$4a$	$4.5a$

注：B 为试样宽度，a 为钢材厚度（直径）。

表 24-4

牌号	质量等级	化学成分（%）										
		C ≤	Mn	Si ≤	P ≤	S ≤	V	Nb	Ti	Al ≥	Cr ≤	Ni ≤
Q295	A	0.16	0.80～1.50	0.55	0.045	0.045	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	—		
	B	0.16	0.80～1.50	0.55	0.040	0.040	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	—		
Q345	A	0.20	1.00～1.60	0.55	0.045	0.045	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	—		
	B	0.20	1.00～1.60	0.55	0.040	0.040	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	—		
	C	0.20	1.00～1.60	0.55	0.035	0.035	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015		
	D	0.18	1.00～1.60	0.55	0.030	0.030	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015		
	E	0.18	1.00～1.60	0.55	0.025	0.025	0.02～0.15	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015		
Q390	A	0.20	1.00～1.60	0.55	0.045	0.045	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	—	0.30	0.70
	B	0.20	1.00～1.60	0.55	0.040	0.040	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	—	0.30	0.70
	C	0.20	1.00～1.60	0.55	0.035	0.035	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.30	0.70
	D	0.20	1.00～1.60	0.55	0.030	0.030	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.30	0.70
	E	0.20	1.00～1.60	0.55	0.025	0.025	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.30	0.70
Q420	A	0.20	1.00～1.70	0.55	0.045	0.045	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	—	0.40	0.70
	B	0.20	1.00～1.70	0.55	0.040	0.040	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	—	0.40	0.70
	C	0.20	1.00～1.70	0.55	0.035	0.035	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.40	0.70
	D	0.20	1.00～1.70	0.55	0.030	0.030	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.40	0.70
	E	0.20	1.00～1.70	0.55	0.025	0.025	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.40	0.70
Q460	C	0.20	1.00～1.70	0.55	0.035	0.035	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.70	0.70
	D	0.20	1.00～1.70	0.55	0.030	0.030	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.70	0.70
	E	0.20	1.00～1.70	0.55	0.025	0.025	0.02～0.20	0.015～0.060	0.02～0.20	0.015	0.70	0.70

注：表中的 Al 为全铝含量。如化验酸溶铝时，其含量应不小于 0.010%。

表 24-5

牌号	质量等级	屈服点 σ_s (MPa) 厚度（直径，边长）(mm) ≤16	>16~35	>35~50	>50~100	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	冲击功，A_{kV}（纵向）(J) +20℃	0℃	-20℃	-40℃	180°弯曲试验 d=弯心直径 a=试样厚度（直径） 钢材厚度（直径）(mm) ≤16	>16~100
		不小于					不小于						
Q295	A	295	275	255	235	390~570	23					$d=2a$	$d=3a$
	B	295	275	255	235	390~570	23	34				$d=2a$	$d=3a$
Q345	A	345	325	295	275	470~630	21					$d=2a$	$d=3a$
	B	345	325	295	275	470~630	21	34				$d=2a$	$d=3a$
	C	345	325	295	275	470~630	22		34			$d=2a$	$d=3a$
	D	345	325	295	275	470~630	22			34		$d=2a$	$d=3a$
	E	345	325	295	275	470~630	22				27	$d=2a$	$d=3a$
Q390	A	390	370	350	330	490~650	19					$d=2a$	$d=3a$
	B	390	370	350	330	490~650	19	34				$d=2a$	$d=3a$
	C	390	370	350	330	490~650	20		34			$d=2a$	$d=3a$
	D	390	370	350	330	490~650	20			34		$d=2a$	$d=3a$
	E	390	370	350	330	490~650	20				27	$d=2a$	$d=3a$
Q420	A	420	400	380	360	520~680	18					$d=2a$	$d=3a$
	B	420	400	380	360	520~680	18	34				$d=2a$	$d=3a$
	C	420	400	380	360	520~680	19		34			$d=2a$	$d=3a$
	D	420	400	380	360	520~680	19			34		$d=2a$	$d=3a$
	E	420	400	380	360	520~680	19				27	$d=2a$	$d=3a$
Q460	C	460	440	420	400	550~720	17		34			$d=2a$	$d=3a$
	D	460	440	420	400	550~720	17			34		$d=2a$	$d=3a$
	E	460	440	420	400	550~720	17				27	$d=2a$	$d=3a$

(2) 一般工程用铸造碳钢的化学成分和力学性能（按 GB/T 5676—1985）

化 学 成 分 表 24-6

铸钢牌号	元素最高含量（%） C*	Si	Mn*	S	P	残余元素** Ni	Cr	Cu	Mo	V
ZG 200—400	0.20	0.50	0.80	0.04		0.30	0.35	0.30	0.20	0.05
ZG 230—450	0.30		0.90							
ZG 270—500	0.40									
ZG 30—570	0.50	0.60								
ZG 340—640	0.60									

室温*下试样机械性能**　　表 24-7

铸钢牌号	最小值				
	σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	σ_b (N/mm^2)	δ (%)	根据合同选择	
				ψ (%)	冲击韧性 A_{kV} (J)
ZG 200—400	200	400	25	40	30
ZG 230—450	230	450	22	32	25
ZG 270—500	270	500	18	25	22
ZG 310—570	310	570	15	21	15
ZG 340—640	340	640	10	18	10

表中：A_{kV}——冲击吸收功（V型）；

N/mm^2——牛顿/毫米^2 = 兆帕。

(3) 普通碳素钢、热轧圆钢的化学成分和力学性能 (GB/T 715—1989)

表 24-8

牌　号	化学成分（%）				
	C	Si	Mn	P	S
BL2	0.09～0.15	≤0.07	0.25～0.55	≤0.040	≤0.040
BL3	0.14～0.22	≤0.07	0.30～0.60	≤0.040	≤0.040

表 24-9

牌　号	屈服点 σ_s (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	冷顶锻试验 $x=\frac{h_1}{h}$	热顶锻试　验	热状态或冷状态下铆钉头锻平试验
BL2	≥215	335～410	≥33	$x=0.4$	达1/3高度	顶头直径为圆钢直径的2.5倍
BL3	≥235	370～460	≥28	$x=0.5$	达1/3高度	顶头直径为圆钢直径的2.5倍

注：h 为顶锻前试样高度（两倍圆钢直径）；h_1 为顶锻后试样高度。

(4) 高强度螺栓、螺母、垫圈用原钢材的化学成分和力学性能（按 GB/T 3077—1999）

表 24-10

钢组	序号	统一数字代号	牌号	化学成分（%）										
				C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	W	B	Al	Ti	V
Mn	1	A00202	20Mn2	0.17～0.24	0.17～0.37	1.40～1.80								
	2	A00302	30Mn2	0.27～0.34	0.17～0.37	1.40～1.80								
	3	A00352	35Mn2	0.32～0.39	0.17～0.37	1.40～1.80								
	4	A00402	40Mn2	0.37～0.44	0.17～0.37	1.40～1.80								
	5	A00452	45Mn2	0.42～0.49	0.17～0.37	1.40～1.80								
	6	A00502	50Mn2	0.47～0.55	0.17～0.37	1.40～1.80								
MnV	7	A01202	20MnV	0.17～0.24	0.17～0.37	1.30～1.60								0.07～0.12
SiMn	8	A10272	27SiMn	0.24～0.32	1.10～1.40	1.10～1.40								
	9	A10352	35SiMn	0.32～0.40	1.10～1.40	1.10～1.40								
	10	A10422	42SiMn	0.39～0.45	1.10～1.40	1.10～1.40								
SiMnMoV	11	A14202	20SiMn2MoV	0.17～0.23	0.90～1.20	2.20～2.60		0.30～0.40						0.05～0.12
	12	A14262	25SiMn2MoV	0.22～0.28	0.90～1.20	2.20～2.60		0.30～0.40						0.05～0.12
	13	A14372	37SiMn2MoV	0.33～0.39	0.60～0.90	1.60～1.90		0.40～0.50						0.05～0.12
B	14	A70402	40B	0.37～0.44	0.17～0.37	0.60～0.90					0.0005～0.0035			
	15	A70452	45B	0.42～0.49	0.17～0.37	0.60～0.90					0.0005～0.0035			
	16	A70502	50B	0.47～0.55	0.17～0.37	0.60～0.90					0.0005～0.0035			
MnB	17	A71402	40MnB	0.37～0.44	0.17～0.37	1.10～1.40					0.0005～0.0035			
	18	A71452	45MnB	0.42～0.49	0.17～0.37	1.10～1.40					0.0005～0.0035			
MnMoB	19	A72202	20MnMoB	0.16～0.22	0.17～0.37	0.90～1.20		0.20～0.30			0.0005～0.0035			
MnVB	20	A73152	15MnVB	0.12～0.18	0.17～0.37	1.20～1.60					0.0005～0.0035			0.07～0.12
	21	A73202	20MnVB	0.17～0.23	0.17～0.37	1.20～1.60					0.0005～0.0035			0.07～0.12
	22	A73402	40MnVB	0.37～0.44	0.17～0.37	1.10～1.40					0.0005～0.0035			0.05～0.10
MnTiB	23	A74202	20MnTiB	0.17～0.24	0.17～0.37	1.30～1.60					0.0005～0.0035		0.04～0.10	
	24	A74252	25MnTiBRE	0.22～0.28	0.20～0.45	1.30～1.60					0.0005～0.0035		0.04～0.10	

续表

钢组	序号	统一数字代号	牌号	化学成分（%）										
				C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	W	B	Al	Ti	V
Cr	25	A20152	15Cr	0.12～0.18	0.17～0.37	0.40～0.70	0.70～1.00							
	26	A20153	15CrA	0.12～0.17	0.17～0.37	0.40～0.70	0.70～1.00							
	27	A20202	20Cr	0.18～0.24	0.17～0.37	0.50～0.80	0.70～1.00							
	28	A20302	30Cr	0.27～0.34	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10							
	29	A20352	35Cr	0.32～0.39	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10							
	30	A20402	40Cr	0.37～0.44	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10							
	31	A20452	45Cr	0.42～0.49	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10							
	32	A20502	50Cr	0.47～0.54	0.17～0.87	0.50～0.80	0.80～1.10							
CrSi	33	A21382	38CrSi	0.35～0.43	1.00～1.30	0.30～0.60	1.30～1.60							
CrMo	34	A30122	12CrMo	0.08～0.15	0.17～0.37	0.40～0.70	0.40～0.70	0.40～0.55						
	35	A30152	15CrMo	0.12～0.18	0.17～0.37	0.40～0.70	0.80～1.10	0.40～0.55						
	36	A30202	20CrMo	0.17～0.24	0.17～0.37	0.40～0.70	0.80～1.10	0.15～0.25						
	37	A30302	30CrMo	0.26～0.34	0.17～0.37	0.40～0.70	0.80～1.10	0.15～0.25						
	38	A30303	30CrMoA	0.26～0.33	0.17～0.37	0.40～0.70	0.80～1.10	0.15～0.25						
	39	A30352	35CrMo	0.32～0.40	0.17～0.37	0.40～0.70	0.80～1.10	0.15～0.25						
	40	A30422	42CrMo	0.38～0.45	0.17～0.37	0.50～0.80	0.90～1.20	0.15～0.25						
CrMoV	41	A31122	12CrMoV	0.08～0.15	0.17～0.37	0.40～0.70	0.30～0.60	0.25～0.35						0.15～0.30
	42	A31352	35CrMoV	0.30～0.38	0.17～0.37	0.40～0.70	1.00～1.30	0.20～0.30						0.10～0.20
	43	A31132	12CrMoV	0.08～0.15	0.17～0.37	0.40～0.70	0.90～1.20	0.25～0.35						0.15～0.30
	44	A31253	25Cr2MoVA	0.22～0.29	0.17～0.37	0.40～0.70	1.50～1.80	0.25～0.35						0.15～0.30
	45	A31263	25Cr2Mo1VA	0.22～0.29	0.17～0.37	0.50～0.80	2.10～2.50	0.90～1.10						0.30～0.50
CrMoAl	46	A33382	38CrMoAl	0.35～0.42	0.20～0.45	0.30～0.60	1.35～1.65	0.15～0.25				0.70～1.10		
CrV	47	A23402	40CrV	0.37～0.44	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10							0.10～0.20
	48	A23503	50CrVA	0.47～0.54	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10							0.10～0.20

续表

钢组	序号	统一数字代号	牌号	化学成分（%）										
				C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	W	B	Al	Ti	V
CrMn	49	A22152	15CrMn	0.12～0.18	0.17～0.37	1.10～1.40	0.40～0.70							
	50	A22202	20CrMn	0.17～0.23	0.17～0.37	0.90～1.20	0.90～1.20							
	51	A22402	40CrMn	0.37～0.45	0.17～0.37	0.90～1.20	0.90～1.20							
CrMnSi	52	A24202	20CrMnSi	0.17～0.23	0.90～1.20	0.80～1.10	0.80～1.10							
	53	A24252	25CrMnSi	0.22～0.28	0.90～1.20	0.80～1.10	0.80～1.10							
	54	A24302	30CrMnSi	0.27～0.34	0.90～1.20	0.80～1.10	0.80～1.10							
	55	A24303	30CrMnSiA	0.28～0.34	0.90～1.20	0.80～1.10	0.80～1.10							
	56	A24353	35CrMnSiA	0.32～0.39	1.10～1.40	0.80～1.10	1.10～1.40							
CrMnMo	57	A34202	20CrMnMo	0.17～0.23	0.17～0.37	0.90～1.20	1.10～1.40	0.20～0.30						
	58	A34402	40CrMnMo	0.37～0.45	0.17～0.37	0.90～1.20	0.90～1.20	0.20～0.30						
CrMnTi	59	A26202	20CrMnTi	0.17～0.23	0.17～0.37	0.80～1.10	1.00～1.30						0.04～0.10	
	60	A26302	30CrMnTi	0.24～0.32	0.17～0.37	0.80～1.10	1.00～1.30						0.04～0.10	
CrNi	61	A40202	20CrNi	0.17～0.23	0.17～0.37	0.40～0.70	0.45～0.75		1.00～1.40					
	62	A40402	40CrNi	0.37～0.44	0.17～0.37	0.50～0.80	0.45～0.75		1.00～1.40					
	63	A40452	45CrNi	0.42～0.49	0.17～0.37	0.50～0.80	0.45～0.75		1.00～1.40					
	64	A40502	50CrNi	0.47～0.54	0.17～0.37	0.50～0.80	0.45～0.75		1.00～1.40					
	65	A41122	12CrNi2	0.10～0.17	0.17～0.37	0.30～0.60	0.60～0.90		1.50～1.90					
	66	A42122	12CrNi3	0.10～0.17	0.17～0.37	0.30～0.60	0.60～0.90		2.75～3.15					
	67	A42202	20CrNi3	0.17～0.24	0.17～0.37	0.30～0.60	0.60～0.90		2.75～3.15					
	68	A42302	30CrNi3	0.27～0.33	0.17～0.37	0.30～0.60	0.60～0.90		2.75～3.15					
	69	A42372	37CrNi3	0.34～0.41	0.17～0.37	0.30～0.60	1.20～1.60		3.00～3.50					
	70	A43122	12Cr2Ni4	0.10～0.16	0.17～0.37	0.30～0.60	1.25～1.65		3.25～3.65					
	71	A43202	20Cr2Ni4	0.17～0.23	0.17～0.37	0.30～0.60	1.25～1.65		3.25～3.65					
CrNiMo	72	A50202	20CrNiMo	0.17～0.23	0.17～0.37	0.60～0.95	0.40～0.70	0.20～0.30	0.35～0.75					
	73	A50403	40CrNiMoA	0.37～0.44	0.17～0.37	0.50～0.80	0.60～0.90	0.15～0.25	1.25～1.65					

续表

钢组	序号	统一数字代号	牌号	化学成分（%）										
				C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	W	B	Al	Ti	V
CrMnNiMo	74	A50183	18CrNiMnMoA	0.15～0.21	0.17～0.37	1.10～1.40	1.00～1.30	0.20～0.30	1.00～1.30					
CrNiMoV	75	A51453	45CrNiMoVA	0.42～0.49	0.17～0.37	0.50～0.80	0.80～1.10	0.20～0.30	1.30～1.80					0.10～0.20
CrNiW	76	A52183	18Cr2Ni4WA	0.13～0.19	0.17～0.37	0.30～0.60	1.35～1.65		4.00～4.50	0.80～1.20				
	77	A52253	25Cr2Ni4WA	0.21～0.28	0.17～0.37	0.30～0.60	1.35～1.65		4.00～4.50	0.80～1.20				

注：1 本标准中规定带“A”字标志的牌号仅能作为高级优质钢订货，其他牌号按优质钢订货。

2 根据需方要求，可对表中各牌号按高级优质钢（指不带“A”）或特级优质钢（全部牌号）订货，只需在所订牌号后加“A”或“B”字标志（对有“A”字牌号应先去掉“A”）。需方对表中牌号化学成分提出其他要求可按特殊要求订货。

3 统一数字代号系根据 GB/T 17616 规定列入，优质钢尾部数字为“2”，高级优质钢（带“A”钢）尾部数字为“3”，特级优质钢（带“E”钢）尾部数字为“6”。

4 稀土成分按 0.05% 计算量加入，成品分析结果供参考。

表 24-11

钢组	序号	牌号	试样毛坯尺寸（mm）	热处理					力学性能					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度（HB100/3000）不大于
				淬火			回火		抗拉强度 σ_b（MPa）	屈服点 σ_s（MPa）	断后伸长率 δ_5（%）	断面收缩率 ψ（%）	冲击吸收功 A_{kv2}（J）	
				加热温度（℃）		冷却剂	加热温度（℃）	冷却剂						
				第一次淬火	第二次淬火				不小于					
Mn	1	20Mn2	15	850	—	水、油	200	水、空	785	590	10	40	47	187
				880	—	水、油	440	水、空						
	2	30Mn2	25	840	—	水	500	水	785	635	12	45	63	207
	3	35Mn2	25	840	—	水	500	水	835	685	12	45	55	207
	4	40Mn2	25	840	—	水、油	540	水	885	735	12	45	55	217
	5	45Mn2	25	840	—	油	550	水、油	885	735	10	45	47	217
	6	50Mn2	25	820	—	油	550	水、油	930	785	9	40	39	229

续表

钢组	序号	牌号	试样毛坯尺寸(mm)	热处理					力学性能					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度(HB100/3000)不大于
				淬火			回火		抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 σ_s (MPa)	断后伸长率 δ_5 (%)	断面收缩率 ψ (%)	冲击吸收功 A_{kv2} (J)	
				加热温度(℃)		冷却剂	加热温度(℃)	冷却剂						
				第一次淬火	第二次淬火									
									不小于					
MnV	7	20MnV	15	880	—	水、油	220	水、空	785	590	10	40	55	187
SiMn	8	27SiMn	25	920	—	水	450	水、油	980	835	12	40	39	217
	9	35SiMn	25	900	—	水	570	水、油	885	735	15	45	47	229
	10	42SiMn	25	880	—	水	590	水	885	735	15	40	47	229
SiMnMoV	11	20SiMn2MoV	试样	900	—	油	200	水、空	1380	—	10	45	55	269
	12	25SiMn2MoV	试样	900	—	油	200	水、空	1470	—	10	40	47	269
	13	37SiMn2MoV	25	870	—	水、油	650	水、空	980	835	12	50	63	269
B	14	40B	25	840	—	水	550	水	785	635	12	45	55	207
	15	45B	25	840	—	水	550	水	835	685	12	45	47	217
	16	50B	20	840	—	油	600	空	785	540	10	45	39	207
MnB	17	40MnB	25	850	—	油	500	水、油	980	785	10	45	47	207
	18	45MnB	25	840	—	油	500	水、油	1030	835	9	40	39	217
MnMoB	19	20MnMoB	15	880	—	油	2000	油、空	1080	885	10	50	55	207
MnVB	20	15MnVB	15	860	—	油	200	水、空	885	635	10	45	55	207
	21	20MnVB	15	860	—	油	200	水、空	1080	885	10	45	55	207
	22	40MnVB	25	850	—	油	520	水、油	980	785	10	45	47	207
MnTiB	23	20MnTiB	15	860	—	油	200	水、空	1130	930	10	45	55	187
	24	25MnTiBRE	试样	860	—	油	200	水、空	1380	—	10	40	47	229

续表

钢组	序号	牌号	试样毛坯尺寸(mm)	热处理					力学性能					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度(HB100/3000)不大于
				淬火			回火		抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 σ_s (MPa)	断后伸长率 δ_5 (%)	断面收缩率 ψ (%)	冲击吸收功 A_{kv2} (J)	
				加热温度(℃)		冷却剂	加热温度(℃)	冷却剂						
				第一次淬火	第二次淬火				不小于					
Cr	25	15Cr	15	880	780~820	水、油	200	水、空	735	490	11	45	55	179
	26	15CrA	15	880	770~820	水、油	180	油、空	685	490	12	45	55	179
	27	20Cr	15	880	780~820	水、油	200	水、空	835	540	10	40	47	179
	28	30Cr	25	860	—	油	500	水、油	885	685	11	45	47	187
	29	35Cr	25	860	—	油	500	水、油	930	735	11	45	47	207
	30	40Cr	25	850	—	油	520	水、油	980	785	9	45	47	207
	31	45Cr	25	840	—	油	520	水、油	1030	835	9	40	39	217
	32	50Cr	25	830	—	油	520	水、油	1080	930	9	40	39	229
CrSi	33	38CrSi	25	900	—	油	600	水、油	980	835	12	50	55	255
CrMo	34	12CrMo	30	900	—	空	650	空	410	265	24	60	110	179
	35	15CrMo	30	900	—	空	650	空	440	295	22	60	94	179
	36	20CrMo	15	880	—	水、油	500	水、油	885	685	12	50	78	197
	37	30CrMo	25	880	—	水、油	540	水、油	930	785	12	50	63	229
	38	30CrMoA	15	880	—	油	540	水、油	930	735	12	50	71	229
	39	35CrMo	25	850	—	油	550	水、油	980	835	12	45	63	229
	40	42CrMo	25	850	—	油	560	水、油	1080	930	12	45	63	217

续表

钢组	序号	牌号	试样毛坯尺寸(mm)	热处理					力学性能					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度(HB100/3000)不大于
				淬火			回火		抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 σ_s (MPa)	断后伸长率 δ_5 (%)	断面收缩率 ψ (%)	冲击吸收功 A_{kU2} (J)	
				加热温度(℃)		冷却剂	加热温度(℃)	冷却剂						
				第一次淬火	第二次淬火									
									不小于					
CrMoV	41	12CrMoV	30	970	—	空	750	空	440	225	22	50	78	241
	42	35CrMoV	25	900	—	油	630	水、油	1080	930	10	50	71	211
	43	12Cr1MoV	30	970	—	空	750	空	490	245	22	50	71	179
	44	25Cr2MoVA	25	900	—	油	640	空	930	785	14	55	63	241
	45	25Cr2Mo1VA	25	1040	—	空	700	空	735	590	16	50	47	241
CrMoAl	46	38CrMoAl	30	940	—	水、油	640	水、油	980	835	14	50	71	229
CrV	47	40CrV	25	880	—	油	650	水、油	885	735	10	50	71	241
	48	50CrVA	25	860	—	油	500	水、油	1280	1130	10	40	—	255
CrMn	49	15CrMn	15	880	—	油	200	水、空	785	590	12	50	47	179
	50	20CrMn	15	850	—	油	200	水、空	930	735	10	45	47	187
	51	40CrMn	25	840	—	油	550	水、油	980	835	9	45	47	229
CrMnSi	52	20CrMnSi	25	880	—	油	480	水、油	785	635	12	45	55	207
	53	25CrMnSi	25	880	—	油	480	水、油	1080	885	10	40	39	217
	54	30CrMnSi	25	880	—	油	520	水、油	1080	885	10	45	39	229
	55	30CrMnSiA	25	880	—	油	540	水、油	1080	835	10	45	39	229
	56	35CrMnSiA	试样	加热到880℃，于280～310℃等温淬火					1620	1280	9	40	31	241
			试样	950	890	油	230	空、油						
CrMnMo	57	20CrMnMo	15	850	—	油	200	水、空	1180	885	10	45	55	217
	58	40CrMnMo	25	850	—	油	600	水、油	980	785	10	45	63	217

续表

钢组	序号	牌号	试样毛坯尺寸(mm)	热处理					力学性能					钢材退火或高温回火供应状态布氏硬度(HB100/3000)不大于
				淬火			回火		抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 σ_s (MPa)	断后伸长率 δ_5 (%)	断面收缩率 ψ (%)	冲击吸收功 A_{kv2} (J)	
				加热温度(℃)		冷却剂	加热温度(℃)	冷却剂						
				第一次淬火	第二次淬火				不小于					
CrMnTi	59	20CrMnTi	15	880	870	油	200	水、空	1080	850	10	45	55	217
	60	30CrMnTi	试样	880	850	油	200	水、空	1470	—	9	40	47	229
CrNi	61	20CrNi	25	850	—	水、油	460	水、油	785	590	10	50	63	197
	62	40CrNi	25	820	—	油	500	水、油	980	785	10	45	55	241
	63	45CrNi	25	820	—	油	530	水、油	980	785	10	45	55	255
	64	50CrNi	25	820	—	油	500	水、油	1080	835	8	40	39	255
	65	12CrNi2	15	860	780	水、油	200	水、空	785	590	12	50	63	207
	66	12CrNi3	15	860	780	油	200	水、空	930	685	11	50	71	217
	67	20CrNi3	25	830	—	水、油	480	水、油	930	735	11	55	78	241
	68	30CrNi3	25	820	—	油	500	水、油	980	785	9	45	63	241
	69	37CrNi3	25	820	—	油	500	水、油	1130	980	10	50	47	269
	70	12Cr2Ni4	15	860	780	油	200	水、空	1080	835	10	50	71	269
	71	20Cr2Ni4	15	880	780	油	200	水、空	1180	1080	10	45	63	269
CrNiMo	72	20CrNiMo	15	850	—	油	200	空	980	785	9	40	47	197
	73	40CrNiMoA	25	850	—	油	600	水、油	980	835	12	55	78	269
CrMnNiMo	74	18CrMnNiMoA	15	830	—	油	200	空	1180	885	10	45	71	269
CrNiMoV	75	45CrNiMoVA	试样	860	—	油	460	油	1470	1330	7	35	31	269
CrNiW	76	18Cr2Ni4WA	15	950	850	空	200	水、空	1180	835	10	45	78	269
	77	25Cr2Ni4WA	25	850	—	油	550	水、油	1080	930	11	45	71	269

注：1. 表中所列热处理温度允许调整范围：淬火 ±15℃，低温回火 ±20℃，高温回火 ±50℃。

2. 硼钢在淬火前可先经正火，正火温度应不高于其淬火温度，铬锰钛钢第一次淬火可用正火代替。

3. 拉伸试验时试样钢上不能发现屈服，无法测定屈服点 σ_s 情况下，可以测规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$。

(5) 高强度螺栓、螺母、垫圈的性能等级及其力学性能(按 GB/T 1231—1991)

表 24-12

类 别	性能等级	推荐材料	标准编号	适用规格
螺栓	10.9S	20MnTiB	GB 3077	≤M24
		35VB		≤M30
	8.8S	40B	GB 3077	≤M24
		45	GB 699	≤M22
		35	GB 699	≤M20
螺母	10H	45、35	GB 699	
		15MnVB	GB 3077	
	8H	35	GB 699	
垫圈	HRC35～45	45、35	GB 699	

表 24-13

螺 栓	螺 母	垫 圈
10.9S	10H	HRC 35～45
8.8S	8H	HRC 35～45

表 24-14

性能等级	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	收缩率 ψ (%)	冲击韧性 α_k (J/cm²)
		不小于			
10.9S	1040～1240	940	10	42	59
8.8S	830～1030	660	12	45	78

表 24-15

螺纹规格 d			M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
公称应力截面积 A_S (mm²)			84.3	157	245	303	353	459	561
性能等级	10.9S	拉力载荷 (N)	87700～104500	163000～195000	255000～304000	315000～376000	367000～438000	477000～569000	583000～696000
	8.8S		70000～86800	130000～162000	203000～252000	251000～312000	293000～364000	381000～473000	466000～578000

表 24-16

性能等级	维氏硬度 HV_{30}		洛氏硬度 HRC	
	min	max	min	max
10.9S	312	367	33	39
8.8S	249	296	24	31

表 24-17

螺纹规格 D		M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
10H	保证载荷 (N)	87700	163000	255000	315000	367000	477000	583000
8H	保证载荷 (N)	70000	130000	203000	251000	293000	381000	466000

表 24-18

性能等级	洛氏硬度		维氏硬度	
	min	max	min	max
10H	HRB 98	HRC 28	HV_{30}222	HV_{30}274
8H	HRB 95	HRC 22	HV_{30}206	HV_{30}237

注：垫圈的硬度为 HV_{30}329～436（HRC 35～45）。

(6) 碳钢焊条的药皮类型和焊接电源（按 GB/T 5117—1995）

表 24-19

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E43 系列-熔敷金属抗拉强度≥420（MPa）　(43 kgf/mm²)			
E4300	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E4301	钛铁矿型		
E4303	钛钙型		
E4310	高纤维素钠型		直流反接
E4311	高纤维素钾型		交流或直流反接
E4312	高钛钠型	平、立、仰、横	交流或直流正接
E4313	高钛钾型		交流或直流正、反接
E4315	低氢钠型		直流反接
E4316	低氢钾型		交流或直流反接
E4320	氧化铁型	平	交流或直流正、反接
		平角焊	交流或直流正接
E4322		平	交流或直流正接
E4323	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接
E4324	铁粉钛型		
E4327	铁粉氧化铁型	平	交流或直流正、反接
		平角焊	交流或直流正接
E4328	铁粉低氢型	平、平角焊	交流或直流反接

续表

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E50系列-熔敷金属抗拉强度≥490 MPa（50 kgf/mm²）			
E5001	钛铁矿型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E5003	钛钙型		
E5010	高纤维素钠型		直流反接
E5011	高纤维素钾型		交流或直流反接
E5014	铁粉钛型		交流或直流正、反接
E5015	低氢钠型		直流反接
E5016	低氢钾型		交流或直流反接
E5018	铁粉低氢钾型		
E5018M	铁粉低氢型		直流反接
E5023	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接
E5024	铁粉钛型	平、平角焊	交流或直流正、反接
E5027	铁粉氧化铁型	平、平角焊	交流或直流正接
E5028	铁粉低氢型	平、平角焊	交流或直流反接
E5048		平、仰、横、立向下	

注：1. 焊接位置栏中文字涵义：平——平焊，立——立焊，仰——仰焊，横——横焊，平角焊——水平角焊，立向下——向下立焊。

2. 焊接位置栏中立和仰系指适用于立焊和仰焊的直径不大于4.0mm的E5014、EXX15、EXX16、E5018和E5018M型焊条及直径不大于5.0mm的其他型号焊条。

3. E4322型焊条适宜单道焊。

(7) 碳素焊条熔敷金属的化学成分和力学性能（按GB/T 5117—1995）

熔敷金属化学成分（%） **表24-20**

焊条型号	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	MnNiCrMoV总量
E4300、E4301、E4303、E4310、E4311、E4312、E4313、E4320、E4322、E4323、E4324、E4327、E5001、E5003、E5010、E5011	—			0.035	0.040	—				
E5015、E5016、E5018、E5027	—	1.60	0.75			0.30	0.20	0.30	0.08	1.75
E4315、E4316、E4328、E5014、E5023、E5024	—	1.25	0.90							1.50
E5028、E5048	—	1.60								1.75
E5018M	0.12	0.40～1.60	0.80	0.020	0.030	0.25	0.15	0.35	0.05	—

注：表中单值均为最大值。

表 24-21

焊条型号	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 σ_s (MPa)	伸长率 δ_5 (%)
E43 系列			
E4300、E4301、E4303、E4310、E4311、E4315、E4316、E4320、E4323、E4327、E4328	420	330	22
E4312、E4313、E4324			17
E4322		不要求	
E50 系列			
E5001、E5003、E5010、E5011	490	400	20
E5015、E5016、E5018、E5027、E5028、E5048			22
E5014、E5023、E5024			17
E5018M		365～500	24

注：1. 表中的单值均为最小值。

2. E5024-1 型焊条的伸长率最低值为 22%。

3. E5018M 型焊条熔敷金属抗拉强度名义上是 490MPa，直径为 2.5mm 焊条的屈服点不大于 530MPa。

表 24-22

焊条型号	夏比 V 型缺口冲击吸收功（J）不小于	试验温度（℃）
	5 个试样中 3 个值的平均值[1]	
EXX10、EXX11、EXX15、EXX16、EXX18、EXX27、E5048	27	-30
EXX01、EXX28、E5024-1		-20
E4300、EXX03、EXX23	27	0
E5015-1 E5016-1 E5018-1		-46
	5 个试样的平均值[2]	
E5018M	67	-30
E4312、E4313、E4320、E4322、E5014、EXX24	—	

注：1. 在计算 5 个试样中 3 个值的平均值时，5 个值中的最大值和最小值应舍去，余下的 3 个值要有两个值不小于 27J，另一个值不小于 20J。

2. 用 5 个试样的值计算平均值，这 5 个值中要有 4 个值不小于 67J，另一个值不小于 54J。

表 24-23

焊条型号	焊缝金属射线探伤底片要求
EXX01、EXX15、EXX16、E5018、E5018M、E4320、E5048	Ⅰ级
E4300、EXX03、EXX10、EXX11、E4313、E5014、EXX23、EXX24、EXX27、EXX28	Ⅱ级
E4312、E4322	—

(8) 低合金焊条熔敷金属的化学成分和力学性能（按 GB/T 5118—1995）

表 24-24

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E50 系列-熔敷金属抗拉强度≥490MPa（50kgf/mm²）			
E5003-X	钛钙型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E5010-X	高纤维素钠型		直流反接
E5011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E5015-X	低氢钠型		直流反接
E5016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E5018-X	铁粉低氢型		
E5020-X	高氧化铁型	平角焊	交流或直流正接
		平	交流或直流正、反接
E5027-X	铁粉氧化铁型	平角焊	交流或直流正接
		平	交流或直流正、反接
E55 系列-熔敷金属抗拉强度≥540MPa（55kgf/mm²）			
E5500-X	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E5503-X	钛钙型		
E5510-X	高纤维素钠型		直流反接
E5511-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E5513-XX	高钛钾型		交流或直流正、反接
E5515-X	低氢钠型		直流反接
E5516-X	低氢钾型		交流或直流反接
E5518-X	铁粉低氢型		
E60 系列-熔敷金属抗拉强度≥590MPa（60kgf/mm²）			
E6000-X	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E6010-X	高纤维素钠型		直流反接
E6011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E6013-X	高钛钾型		交流或直流正、反接
E6015-X	低氢钠型		直流反接
E6016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E6018-X	铁粉低氢型		

续表

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E70系列-熔敷金属抗拉强度≥690MPa（70kgf/mm²）			
E7010-X	高纤维素钠型	平、立、仰、横	直流反接
E7011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E7013-X	高钛钾型		交流或直流正、反接
E7015-X	低氢钠型		直流反接
E7016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E7018-X	铁粉低氢型		
E75系列-熔敷金属抗拉强度≥740MPa（75kgf/mm²）			
E7515-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E7516-X	低氢钾型		交流或直流反接
E7518-X	铁粉低氢型		
E80系列-熔敷金属抗拉强度≥780MPa（80kgf/mm²）			
E8015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E8016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E8018-X	铁粉低氢型		
E85系列-熔敷金属抗拉强度≥830MPa（85kgf/mm²）			
E8515-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E8516-X	低氢钾型		交流或直流反接
E8518-X	铁粉低氢型		
E90系列-熔敷金属抗拉强度≥880MPa（90kgf/mm²）			
E9015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E9016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E9018-X	铁粉低氢型		
E100系列-熔敷金属抗拉强度≥980MPa（100kgf/mm²）			
E10015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E10016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E10018-X	铁粉低氢型		

注：后缀字母X代表熔敷金属化学成分分类代号如A1、B1、B2等（见表24-25）。

表24-25

焊条型号	化学成分（%）												
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu
碳钼钢焊条													
E5010-A1	0.12	0.60	0.035	0.035	0.40	—	—	0.40～0.65	—	—	—	—	
E5011-A1													
E5003-A1													
E5015-A1		0.90			0.60								
E5016-A1													
E5018-A1					0.80								
E5020-A1		0.60			0.40								
E5027-A1		1.00											

续表

焊条型号	化学成分（%）												
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu
铬钼钢焊条													
E5500-B1	0.05～0.12	0.90	0.035	0.035	0.60	—	0.04～0.65	0.40～0.65	—	—	—	—	—
E5503-B1													
E5515-B1													
E5516-B1													
F5518-B1					0.80								
E5515-B2					0.60		0.80～1.50						
E5515-B2L	0.05				1.00								
E5516-B2	0.05～0.12				0.60								
E5518-B2					0.80								
E5518-B2L	0.05												
E5500-B2-V	0.05～0.12	0.70～1.10			0.60			0.70～1.00	0.10～0.35	0.10～0.25	0.25～0.50		
E5515-B2-V													
E5515-B2-VNb									0.15～0.40				
E5515-B2-VW									0.20～0.35				
E5500-B3-VWB		1.00					1.50～2.50	0.30～0.80	0.20～0.60	—	0.20～0.60	0.001～0.003	
E5515-B3-VWB													
E5515-B3-VNb							2.40～3.00	0.70～1.00	0.25～0.50	0.35～0.65			
E6000-B3		0.90					2.00～2.50	0.90～1.20	—	—	—	—	
E6015-B3L	0.05				1.00								
E6015-B3	0.05～0.12				0.60								
E6016-B3													
E6018-B3					0.80								
E6018-B3L	0.05												
E5515-B4L					1.00		1.75～2.25	0.40～0.65					
E5516-B5	0.07～0.15	0.40～0.70			0.30～0.60		0.40～0.60	1.00～1.25	0.05				

续表

焊条型号	化学成分（%）												
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu
镍钢焊条													
E5515-C1	0.12	1.25	0.035	0.035	0.60	2.00～2.75	—	—	—	—	—	—	—
E5516-C1													
E5518-C1					0.80								
E5015-C1L	0.05				0.50								
E5016-C1L													
E5018-C1L													
E5516-C2	0.12				0.60	3.00～3.75							
E5518-C2					0.80								
E5015-C2L	0.05				0.50								
E5016-C2L													
E5018-C2L													
E5515-C3	0.12	0.40～1.25	0.03	0.03	0.80	0.80～1.10	0.15	0.35	0.05				
E5516-C3													
E5518-C3													
镍钼钢焊条													
E5518-NM	0.10	0.80～1.25	0.02	0.03	0.60	0.80～1.10	0.05	0.40～0.65	0.02	—	—	—	0.10
锰钼钢焊条													
E6015-D1	0.12	1.25～1.75	0.035	0.035	0.60	—	—	0.25～0.45	—	—	—	—	—
E6016-D1													
E6018-D1					0.80								
E5515-D3		1.00～1.75			0.60								
E5516-D3													
E5518-D3					0.80								
E7015-D2	0.15	1.65～2.00			0.60								
E7016-D2													
E7018-D2					0.80								

续表

焊条型号	化学成分（%）												
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	B	Cu
所有其他低合金钢焊条													
EXX03-G	—	≥1.00	—	—	≥0.80	≥0.50	≥0.30	≥0.20	≥0.10	—	—	—	—
EXX10-G													
EXX11-G													
EXX13-G													
EXX15-G													
EXX16-G													
EXX18-G													
E5020-G													
E6018-M	0.10	0.60~1.25	0.03	0.03	0.80	1.40~1.80	0.15	0.35	0.05				—
E7018-M		0.75~1.70			0.60	1.40~2.10	0.35	0.25~0.50					
E7518-M		1.30~1.80				1.25~2.50	0.40						
E8518-M		1.30~2.25				1.75~2.50	0.30~1.50	0.30~0.55					
E8518-M1		0.80~1.60	0.015	0.012	0.65	3.00~3.80	0.65	0.20~0.30					
E5018-W	0.12	0.40~0.70	0.025	0.025	0.40~0.70	0.20~0.40	0.15~0.30	—	0.08				0.30~0.60
E5518-W		0.50~1.30	0.035	0.035	0.35~0.80	0.40~0.80	0.45~0.70		—				0.30~0.75

注：1. 焊条型号中的“XX”代表焊条的不同抗拉强度等级（50、55、60、70、75、80、85、90及100）。

2. 表中单值除特殊规定外，均为最大百分比。

3. E5518-NM型焊条铝不大于0.05%。

4. EXXXX-G型焊条只要1个元素符合表中规定即可，当有-40℃冲击性能要求≥54J时，该焊条型号标志为EXXXX-E。

表 24-26

焊条型号	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点或屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 δ_5 (%)
E5003-X	490	390	20
E5010-X F5011-X F5015-X E5016-X F5018-X E5020-X E5027-X			22
E5500-X E5503-X	540	440	16
E5510-X E5511-X			17
E5513-X			16
E5515-X			17
E5516-X E5518-X	540	440	17
E5516-C3 E5518-C3		440 ~ 540	22
E6000-X	590	490	14
E6010-X E6011-X			15
E6013-X			14
E6015-X E6016-X E6018-X			15
E6018-M			22
E7010-X E7011-X	690	590	15
E7013-X			13
E7015-X E7016-X E7018-X			15
E7018-M			18
E7515-X E7516-X E7518-X	740	640	13
E7518-M			18
E8015-X E8016-X F8018-X	780	690	13

续表

焊条型号	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点或屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 δ_5 (%)
E8515-X E8516-X E8518-X	830	740	12
E8518-M E8518-M1			15
E9015-X E9016-X E9018-X	880	780	12
E10015-X E10016-X E10018-X	980	880	

注：1. 表中的单值均为最小值。

2. E50XX-X 型焊后状态下的屈服强度不小于 410MPa。

3. E8518-M1 型焊条的抗拉强度一般不小于 830MPa。如果供需双方达成协议时，也可例外。

4. 带附加化学成分的焊条型号应符合相应不带附加化学成分的力学性能。

5. 对 E55XX-B3-VWB 型焊条的屈服强度不小于 340MPa。

25 型钢的规线距离和连接尺寸

(1) 热轧角钢的规线距离

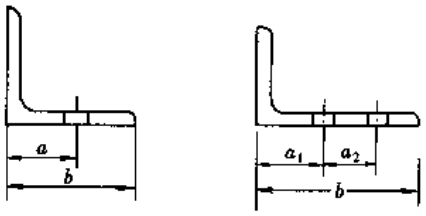


表 25-1

边宽 b (mm)	单行排列		交错排列			双行排列		
	a (mm)	孔的最大直径 (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	孔的最大直径 (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	孔的最大直径 (mm)
45	25	11	—	—	—	—	—	—
50	30	13	—	—	—	—	—	—
56	30	15	—	—	—	—	—	—
63	35	17	—	—	—	—	—	—
70	40	19	—	—	—	—	—	—
75	45	21.5	—	—	—	—	—	—
80	45	21.5	—	—	—	—	—	—
90	50	23.5	—	—	—	—	—	—
100	55	23.5	—	—	—	—	—	—
110	60	25.5	—	—	—	—		—
125	70	25.5	55	35	23.5	—	—	—
140	—	—	60	45	23.5	55	60	19
160	—	—	60	65	25.5	60	70	23.5
180	—	—	—	—	—	65	80	25.5
200	—	—	—	—	—	80	80	25.5

(2) 热轧工字钢的规线距离

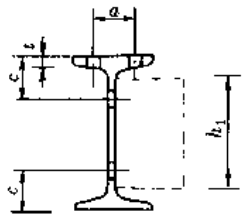


表 25-2

普通工字钢							轻型工字钢						
型号	翼缘			腹板			型号	翼缘			腹板		
	a	t	孔的最大直径	c	h_1	孔的最大直径		a	t	孔的最大直径	c	h_1	孔的最大直径
	(mm)							(mm)					
10	36	7.6	11	35	63	9	10	32	7.1	9	35	70	9
12.6	42	8.2	11	35	89	11	12	36	7.2	11	35	88	11
14	44	9.2	13	40	103	13	14	40	7.4	13	40	107	13
16	44	10.2	15	45	119	15	16	46	7.7	13	40	125	15
18	50	10.7	17	50	137	17	18	50	8.0	15	45	143	15
22a 22b	54	11.5	17	50	155	17	18a	54	8.2	17	45	142	15
22a 22b	54	12.8	19	50	171	19	20	54	8.3	17	50	161	17
							20a	60	8.5	19	50	160	17
25a 25b	64	13.0	21.5	60	197	21.5	22	60	8.6	19	55	178	21.5
28a 28b	64	13.9	21.5	60	226	21.5	22a	64	8.8	21.5	55	178	21.5
							24	60	9.5	19	55	196	21.5
32a 32b 32c	70	15.3	21.5	65	260	21.5	24a	70	9.5	21.5	55	195	21.5
							27	70	9.5	21.5	60	224	21.5
36a 36b 36c	74	16.1	23.5	65	298	23.5	27a	70	9.9	23.5	60	222	23.5
							30	70	9.9	23.5	65	251	23.5
40a 40b 40c	80	16.5	23.5	70	336	23.5	30a	80	10.4	23.5	65	248	23.5
							33	80	10.8	23.5	65	277	23.5
							36	80	12.1	23.5	65	302	23.5
45a 45b 45c	84	18.1	25.5	75	380	25.5	40	80	12.8	23.5	70	339	25.5
							45	90	13.9	23.5	70	384	25.5
50a 50b 50c	94	19.6	25.5	75	424	25.5	50	100	14.9	25.5	75	430	25.5
							55	100	16.2	28.5	80	475	28.5
56a 56b 56c	104	20.1	25.5	80	480	25.5	60	110	17.2	28.5	80	518	28.5
							65	110	19.0	28.5	85	561	28.5
							70	120	20.2	28.5	90	604	28.5
63a 63b 63c	110	21.0	25.5	80	546	25.5	70a	120	23.5	28.5	100	598	28.5
							70b	120	27.8	28.5	100	591	28.5

注：表中 t——翼缘在规线处的厚度；h_1——连接件的最大高度。

(3) 热轧槽钢的规线距离

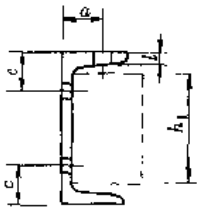
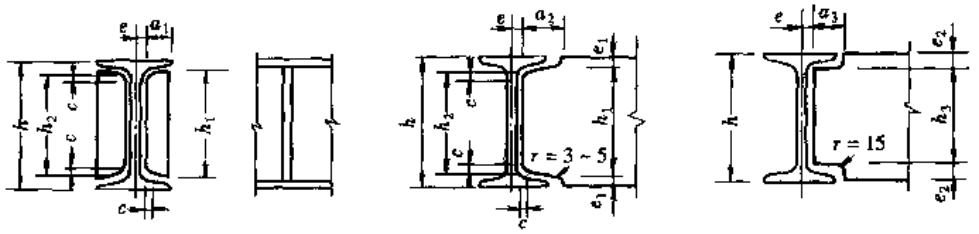


表 25-3

普通槽钢							轻型槽钢						
	翼缘			腹板				翼缘			腹板		
型号	a	t	孔的最大直径	c	h_1	孔的最大直径	型号	a	t	孔的最大直径	c	h_1	孔的最大直径
	(mm)							(mm)					
5	20	7.1	11	—	26	—	5	20	6.8	9	—	22	—
6.3	22	7.5	11	—	32	—	6.5	20	7.2	11	—	37	—
8	25	7.9	13	—	47	—	8	25	7.1	11	—	50	—
10	28	8.4	13	35	63	11	10	30	7.1	13	30	68	9
12.6	30	8.9	17	45	85	13	12	30	7.6	17	40	86	13
14a 14b	35	9.4	17	45	99	17	14	35	7.7	17	45	104	15
16a 16b	35	10.1	21.5	50	117	21.5	14a	35	8.5	17	45	102	15
18a 18b	40	10.5	21.5	55	135	21.5	16	40	7.8	19	45	122	17
20a 20b	45	10.7	21.5	55	153	21.5	16a	40	8.6	19	45	120	17
22a 22b	45	11.4	21.5	60	171	21.5	18	40	8.0	21.5	50	140	19
25a 25b 25c	50	11.7	21.5	60	197	21.5	18a	45	8.8	23.5	50	138	19
28a 28b 28c	50	12.4	25.5	65	225	25.5	20	45	8.6	23.5	55	158	21.5
32a 32b 32c	50	14.2	25.5	70	260	25.5	20a	50	9.0	23.5	55	156	21.5
36a 36b 36c	60	15.7	25.5	75	291	25.5	22	50	8.9	25.5	60	175	23.5
40a 40b 40c	60	17.9	25.5	75	323	25.5	22a	50	9.8	25.5	60	173	23.5
							24	50	9.8	25.5	65	192	25.5
							24a	60	9.7	25.5	65	190	25.5
							27	60	9.6	25.5	65	220	25.5
							30	60	10.3	25.5	65	247	25.5
							33	60	11.3	25.5	70	273	25.5
							36	70	11.5	25.5	70	300	25.5
							40	70	12.7	25.5	75	335	25.5

注：表中 t——翼缘在规线处的厚度；h_1——连接件的最大高度。

(4) 热轧普通工字钢的连接尺寸

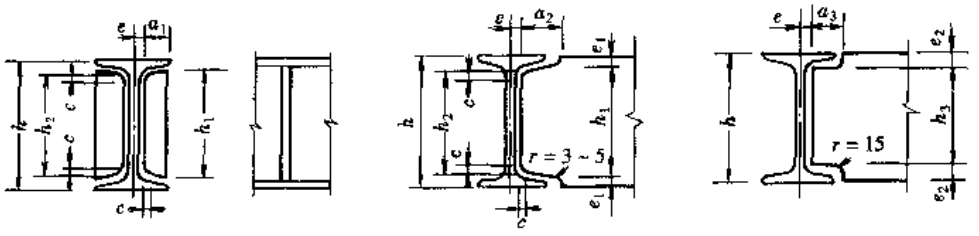


Ⅰ型　　Ⅱ型　　Ⅲ型

表 25-4

型号	Ⅰ型					Ⅱ型						Ⅲ型			
	h_1	h_2	a_1	c	e	h_1	h_2	a_2	c	e	e_1	h_3	a_3	e	e_2
	(mm)					(mm)						(mm)			
I10	88	80	30	9	4	88	80	32	9	4	6	66	35	4	17
I12.6	113	104	30	9	4	114	104	35	9	4	6	88	38	4	19
I14	126	117	35	10	4	126	117	38	10	4	7	100	41	4	20
I16	145	135	35	10	5	146	135	42	10	5	7	116	45	5	22
I18	164	153	40	10	5	166	153	44	10	5	7	134	47	5	23
I20a	183	171	45	11	5	184	171	47	11	5	8	152	50	5	24
I20b	183	171	45	11	6	184	171	47	11	6	8	152	50	6	24
I22a	202	189	45	12	5	204	189	52	12	5	8	168	55	5	26
I22b	202	189	45	12	6	204	189	52	12	6	8	168	55	6	26
I25a	231	217	50	12	6	232	217	55	12	6	9	194	58	6	28
I25b	231	217	50	12	7	232	217	55	12	7	9	194	58	7	28
I28a	260	245	55	13	6	262	245	57	13	6	9	222	60	6	29
I28b	260	245	55	13	7	262	245	57	13	7	9	222	60	7	29
I32a	298	282	55	14	6	300	282	61	14	6	10	258	64	6	31
I32b	298	282	55	14	7	300	282	61	14	7	10	258	64	7	31
I32c	298	282	55	14	8	300	282	61	14	8	10	258	64	8	31
I36a	337	321	60	14	7	338	321	64	14	7	11	294	67	7	33
I36b	337	321	60	14	8	338	321	64	14	8	11	294	67	8	33
I36c	337	321	60	14	9	338	321	64	14	9	11	294	67	9	33
I40a	376	359	60	15	7	378	359	66	15	7	11	332	69	7	34
I40b	376	359	60	15	8	378	359	66	15	8	11	332	69	8	34
I40c	376	359	60	15	9	378	359	66	15	9	11	332	69	9	34
I45a	424	406	65	16	7	424	406	70	16	7	13	376	73	7	27
I45b	424	406	65	16	8	424	406	70	16	8	13	376	73	8	37
I45c	424	406	65	16	9	424	406	70	16	9	13	376	73	9	37
I50a	470	451	70	16	8	472	451	74	16	8	14	422	77	8	39
I50b	470	451	70	16	9	472	451	74	16	9	14	422	77	9	39
I50c	470	451	70	16	10	472	451	74	16	10	14	422	77	10	39
I56a	529	509	75	17	8	530	509	77	17	8	15	478	80	8	41
I56b	529	509	75	17	9	530	509	77	17	9	15	478	80	9	41
I56c	529	509	75	17	10	530	509	77	17	10	15	478	80	10	41
I63a	598	576	80	17	8	598	576	82	17	8	16	544	85	8	43
I63b	598	576	80	17	9	598	576	82	17	9	16	544	85	9	43
I63c	598	576	80	17	10	598	576	82	17	10	16	544	85	10	43

(5) 热轧轻型工字钢的连接尺寸

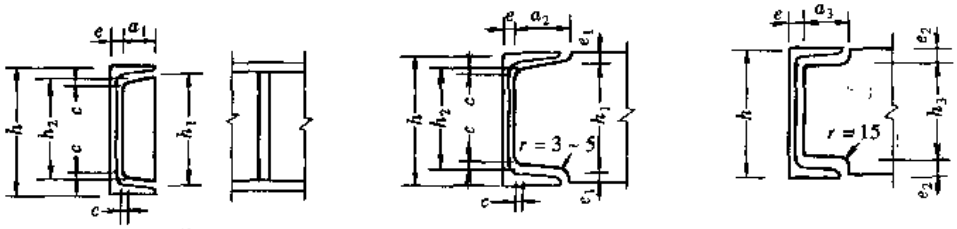


I型　　Ⅱ型　　Ⅲ型

表 25-5

型号	Ⅰ型					Ⅱ型						Ⅲ型			
	h_1	h_2	a_1	c	e	h_1	h_2	a_2	c	e	e_1	h_3	a_3	e	e_2
	(mm)					(mm)						(mm)			
I10	87	83	20	9	4	88	83	26	9	4	6	66	29	4	17
I12	107	102	25	10	4	108	102	30	10	4	6	86	33	4	17
I14	127	121	30	10	4	128	121	35	10	4	6	104	38	4	18
I16	147	140	35	10	4	148	140	39	10	4	6	122	42	4	19
I18	167	159	40	11	4	168	159	43	11	4	6	140	46	4	20
I18a	167	158	45	11	4	168	158	48	11	4	6	138	51	4	21
I20	187	178	45	12	4	188	178	48	12	4	6	158	51	4	21
I20a	187	177	50	12	4	188	177	53	12	4	6	156	56	4	22
I22	207	197	50	12	4	208	197	53	12	4	6	176	56	4	22
I22a	207	196	55	12	4	208	196	58	12	4	6	174	61	4	23
I24	226	215	50	13	4	226	215	55	13	4	7	192	58	4	24
I24a	226	214	55	13	4	226	214	60	13	4	7	192	63	4	24
I27	256	244	55	13	5	256	244	60	13	5	7	220	63	5	25
I27a	255	243	60	13	5	256	243	65	13	5	7	218	68	5	26
I30	285	273	60	14	5	286	272	65	14	5	7	248	68	5	26
I30a	285	272	65	14	5	286	272	70	14	5	7	246	73	5	27
I33	314	301	65	15	5	314	301	67	15	5	8	274	70	5	28
I36	342	329	65	16	5	342	329	69	16	5	9	298	72	5	31
I40	381	367	70	17	6	382	367	74	17	6	9	336	77	6	32
I45	429	415	70	18	6	430	415	76	18	6	10	380	79	6	35
I50	477	463	75	19	6	478	463	81	19	6	11	426	84	6	37
I55	525	510	80	20	7	526	510	85	20	7	12	472	88	7	39
I60	573	557	85	22	7	574	557	90	22	7	13	514	93	7	43
I65	621	604	90	24	8	622	604	95	24	8	14	558	98	8	46
I70	668	651	95	26	8	668	651	99	26	8	16	600	102	8	50
I70a	662	645	95	26	9	662	645	98	26	9	19	594	101	9	53
I70b	653	636	90	26	10	654	636	97	26	10	23	586	100	10	57

(6) 热轧普通槽钢的连接尺寸

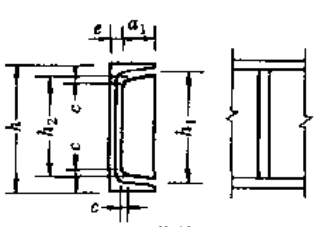


Ⅰ型　　Ⅱ型　　Ⅲ型

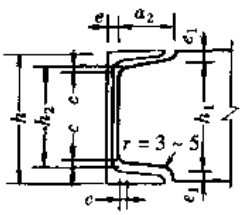
表 25-6

型号	Ⅰ型					Ⅱ型						Ⅲ型			
	h_1	h_2	a_1	c	e	h_1	h_2	a_2	c	e	e_1	h_3	a_3	e	e_2
	(mm)					(mm)						(mm)			
[5	37	33	30	9	6	38	33	33	9	6	6	16	36	6	17
[6.3	50	44	30	10	6	51	44	36	10	6	6	27	39	6	18
[8	66	60	35	10	7	68	60	39	10	7	6	42	42	7	19
[10	85	79	40	10	7	86	79	43	10	7	7	60	46	7	20
[12.6	111	103	45	11	7	112	103	48	11	7	7	84	51	7	21
[14a	124	116	50	12	8	126	116	53	12	8	7	96	56	8	22
[14b	124	116	50	12	10	126	116	53	12	10	7	96	56	10	22
[16a	144	135	55	12	8	146	135	57	12	8	7	112	60	8	24
[16b	144	135	55	12	10	146	135	57	12	10	7	112	60	10	24
[18a	163	153	55	13	9	164	153	61	13	9	8	130	65	9	25
[18b	163	153	55	13	10	164	153	61	13	10	8	130	65	10	25
[20a	183	172	60	13	9	184	172	67	13	9	8	148	70	9	26
[20b	183	172	60	13	10	184	172	67	13	10	8	148	70	10	26
[22a	202	191	65	14	9	204	191	70	14	9	8	166	74	9	27
[22b	202	191	65	14	10	204	191	70	14	10	8	166	74	10	27
[25a	231	220	65	14	9	232	220	72	14	9	9	194	75	9	28
[25b	231	220	65	14	10	232	220	72	14	10	9	194	75	10	28
[25c	231	220	65	14	13	232	220	72	14	13	9	194	75	13	28
[28a	260	248	70	15	9	260	248	75	15	9	10	222	78	9	29
[28b	260	248	70	15	11	260	248	75	15	11	10	222	78	11	29
[28c	260	248	70	15	13	260	248	75	15	13	10	222	78	13	29
[32a	298	285	75	16	10	298	285	81	16	10	11	256	84	10	32
[32b	298	285	75	16	12	298	285	81	16	12	11	256	84	12	32
[32c	298	285	75	16	14	298	285	81	16	14	11	256	84	14	32
[36a	335	321	85	18	10	336	321	88	18	10	12	286	91	10	37
[36b	335	321	85	18	13	336	321	88	18	13	12	286	91	13	37
[36c	335	321	85	18	15	336	321	88	18	15	12	286	91	15	37
[40a	371	357	85	20	12	372	357	90	20	12	14	320	93	12	40
[40b	371	357	85	20	14	372	357	90	20	14	14	320	93	14	40
[40c	371	357	85	20	16	372	357	90	20	16	14	320	93	16	40

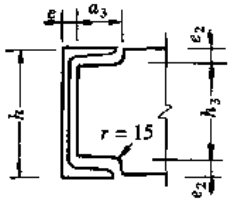
(7) 热轧轻型槽钢的连接尺寸



Ⅰ型



Ⅱ型



Ⅲ型

表 25-7

型号	Ⅰ型					Ⅱ型						Ⅲ型			
	h_1	h_2	a_1	c	e	h_1	h_2	a_2	c	e	e_1	h_3	a_3	e	e_2
	(mm)					(mm)						(mm)			
[5	37	33	25	8	6	38	33	28	8	6	6	18	31	6	16
[6.5	52	47	30	8	6	53	47	32	8	6	6	33	35	6	16
[8	67	61	30	9	6	68	61	36	9	6	6	46	39	6	17
[10	87	80	40	9	6	88	80	42	9	6	6	64	45	6	18
[12	107	100	45	10	6	108	100	48	10	6	6	82	51	6	19
[14	127	118	50	10	6	128	118	54	10	6	6	100	57	6	20
[14a	126	117	55	10	6	126	117	58	10	6	7	98	61	6	21
[16	146	137	55	10	7	146	137	59	10	7	7	118	63	7	21
[16a	146	136	60	10	7	146	136	64	10	7	7	116	67	7	22
[18	166	156	60	11	7	166	156	65	11	7	7	136	68	7	22
[18a	166	155	65	11	7	166	155	69	11	7	7	134	72	7	23
[20	186	175	65	12	7	186	175	71	12	7	7	154	74	7	23
[20a	186	173	70	12	7	186	173	75	12	7	7	152	78	7	24
[22	206	194	70	12	7	206	194	77	12	7	7	172	80	7	24
[22a	206	192	80	12	7	206	192	82	12	7	7	170	85	7	25
[24	226	212	80	13	7	226	212	85	13	7	7	190	88	7	25
[24a	226	210	85	13	7	226	210	90	13	7	7	188	93	7	26
[27	256	241	85	13	8	256	241	90	13	8	7	216	93	8	27
[30	285	269	90	14	8	286	269	94	14	8	7	244	97	8	28
[33	314	298	95	15	9	314	298	99	15	9	8	270	102	9	30
[36	343	326	100	16	9	344	326	103	16	9	8	296	106	9	32
[40	382	364	105	17	10	382	364	107	17	10	9	332	111	10	34

26 吊车技术资料

(1) 大连重工·起重集团有限公司 DQQD 型 5～50/10t 吊钩起重机技术规格 2003 年

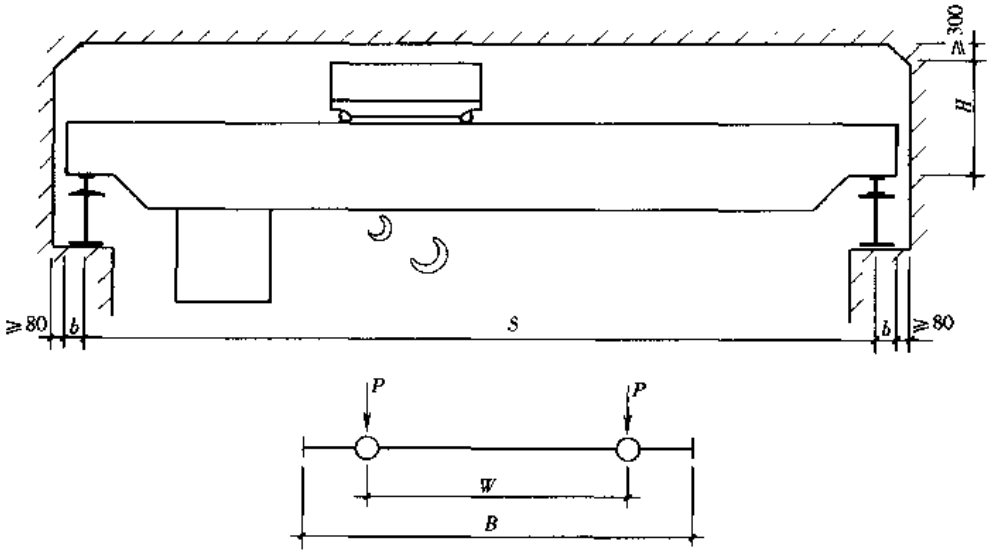


图 26-1 大连 DQQD 型吊车技术规格图

表 26-1

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
5	A5	10.5	16	—	90.7	37.2	5050	3400	1764	230	43kg/m	2.126	12.715	74	26.3
		13.5											14.233	79	30.5
		16.5											16.061	85	34.8
		19.5					5200	3550					18.616	92	41.0
		22.5											20.977	98	46.7
		25.5			91.9		6024	5000					25.393	110	52.5
		28.5											28.516	118	65.0
		31.5											31.405	125	72.1
	A6	10.5	16	—	115.6	37.2	5150	3400	1764	230	43kg/m	2.224	12.991	75	26.8
		13.5											14.509	80	31.0
		16.5											16.337	86	39.0
		19.5					5204	3550					19.027	93	41.8
		22.5											21.395	100	47.5
		25.5			116.8		6264	5000					25.584	111	57.7
		28.5											28.707	119	65.3
		31.5											31.596	126	72.3

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
10	A5	10.5	16	—	90.7	43.8	5700	4050	1876	230	43kg/m	3.424	14.270	102	27.8
		13.5											16.151	109	32.6
		16.5											18.881	118	39.0
		19.5			91.9		5930						20.677	123	43.2
		22.5											23.175	130	49.2
		25.5			84.7		6284	5000	1926				27.605	142	59.9
		28.5											30.986	151	68.1
		31.5											34.405	160	76.4
	A6	10.5			115.6		5704	4050	1876				14.719	104	28.7
		13.5											16.600	111	33.5
		16.5											19.330	120	39.9
		19.5			116.8		5934						21.034	125	43.9
		22.5											23.523	132	49.8
		25.5			112.5		6504	5000	1926				27.889	144	60.4
		28.5											31.280	152	68.6
		31.5											34.699	162	76.9
16/3.2	A5	10.5	16	18	84.7	44.6	5940	4000	2095	230	43kg/m 或 QU70	6.227	19.128	141	34.0
		13.5											20.344	148	38.6
		16.5											23.391	155	41.9
		19.5			87.6		5944	4100	2185	260			26.384	168	52.1
		22.5											28.810	175	57.7
		25.5					6434	5000					33.103	187	68.0
		28.5											36.372	196	78.7
		31.5											39.428	205	83.1
	A6	10.5			112.5	44.6	6274	4400	2095	230	43kg/m 或 QU70	6.427	20.045	145	35.9
		13.5							2097				21.474	152	40.1
		16.5											23.629	160	44.8
		19.5			101.4				2187	260			27.912	172	55.1
		22.5											30.413	180	58.1
		25.5					7004	5000					34.464	191	67.8
		28.5											37.967	202	76.2
		31.5											41.315	211	84.3
20/5	A5	10.5	12	14	84.7	44.6	5940	4000	2097	230	43kg/m 或 QU70	6.856	19.947	163	34.8
		13.5											21.375	169	39.0
		16.5											23.541	178	43.7
		19.5			87.6		5944	4100	2187	260			27.705	191	53.9
		22.5											30.304	199	60.0
		25.5					6434	5000					34.660	211	70.4
		28.5											38.352	222	79.2
		31.5											41.497	231	86.8
	A6	10.5			112.5		6274	4400	2097	230			20.984	167	36.8
		13.5							2099				22.802	174	41.8
		16.5											25.190	183	47
		19.5			101.4				2189	260			29.689	197	57.5
		22.5											32.426	205	61.4
		25.5					7004	5000					36.791	218	74.3
		28.5											40.589	229	84.4
		31.5											44.225	239	92.2

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
32/5	A5	10.5	16	18	87.0	42.4	6474	4650	2343	260	QU70	10.877	26.901	237	47.3
		13.5							2345				29.037	250	52.1
		16.5											32.121	262	58.5
		19.5			74.2		6620	4700	2475	300			35.522	275	67.4
		22.5											39.844	289	75.9
		25.5			74.5		6924	5000					44.962	305	88
		28.5											49.211	317	98.3
		31.5											52.748	327	106.4
	A6	10.5	16	18	101.4	42.4	6574	4650	2347	260	QU70	11.652	28.061	242	48.8
		13.5											30.292	255	53.8
		16.5											33.412	268	60.1
		19.5			101.8		6744	4700	2477	300			38.607	285	71.9
		22.5											42.832	299	81.7
		25.5			86.8		7044	5000					47.023	312	91.4
		28.5											50.586	322	99.7
		31.5											55.272	335	110.9
50/10	A5	10.5	12	16	74.6	38.5	6724	4800	2726	300	QU80	15.425	35.317	333	62.5
		13.5											37.788	354	66.9
		16.5							2732				42.042	373	75.3
		19.5			85.9		6824						46.140	385	83.9
		22.5											50.082	404	92.5
		25.5					7144	5000					55.590	421	105.2
		28.5											59.592	434	114.9
		31.5											64.880	450	126.9
	A6	10.5	12	16	86.8	38.5	6944	4800	2726	300	QU80	15.765	36.075	336	63.9
		13.5							2728				38.929	357	69.1
		16.5							2734				43.314	377	77.8
		19.5			87.3		7024	5000					47.720	395	87.1
		22.5											51.746	410	95.9
		25.5											57.614	428	109.5
		28.5											61.723	441	119.4
		31.5											67.242	457	131.9

注：作者加注 5t 吊车轨道常用型号为 38kg/m。

(2) 大连重工·起重集团有限公司 DSQD 型 5～125t 吊钩起重机技术规格 2003 年

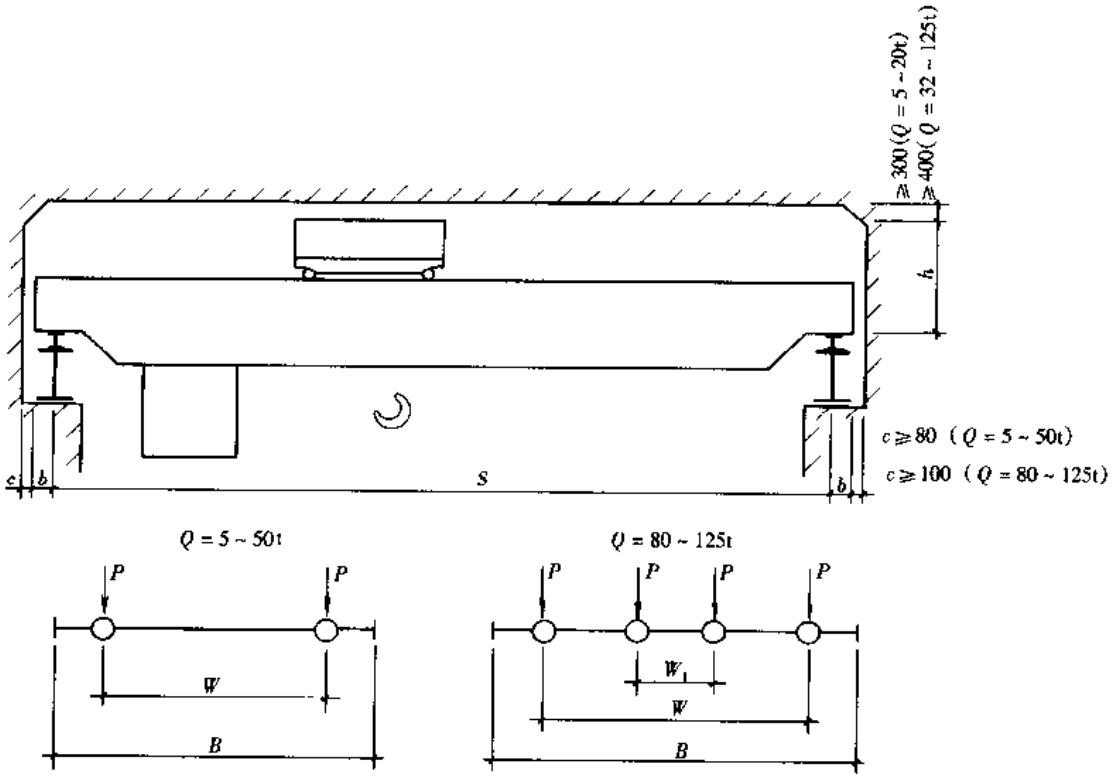


图 26-2　大连 DSQD 型吊车技术规格图

（5c[1]·A6，S=28.5m、31.5m 一侧为 4 个轮）

表 26-2

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	h	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
5	A5	10.5	16	—	63	40	4770	4000	1275	180	38kg/m	1.698	10.4	58	22
		13.5											11.5	62	24
		16.5											12.8	65	27
		19.5											13.9	69	30
		22.5											15.2	77	34
		25.5					5840	5000					17.1	82	40
		28.5											18.9	85	45
		31.5											21.3	90	51
	A6	10.5	16	—	80	40	4840	4000	1275	180	38kg/m	1.698	10.55	59	22
		13.5											11.65	63	24
		16.5											12.95	66	27
		19.5											14.05	70	30
		22.5											15.15	78	34
		25.5					5920	5000					17.25	83	40
		28.5											19.05	86	45
		31.5											21.45	92	51

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	h	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
10	A3	10.5	16	—	40	25	4770	4000	1275	180	38kg/m	1.698	10.4	82	23
		13.5											11.4	87	25
		16.5											13	92	28
		19.5											14.5	97	31
		22.5											16.3	103	36
		25.5					5840	5000					18.9	110	41
		28.5											21.1	116	44
		31.5											23.7	121	54
	A5	10.5	16	—	63	40	6040	5000	1290	180	38kg/m	2.303	11.4	84	26
		13.5											12.4	89	28
		16.5											14	94	31
		19.5											15.5	100	34
		22.5											17.2	105	39
		25.5											19.4	112	44
		28.5											21.7	118	47
		31.5											24.2	122	57
	A6	10.5	16	—	80	40	6040	5000	1290	180	38kg/m	2.303	11.6	85	26
		13.5											12.6	90	28
		16.5											14.2	95	31
		19.5											15.7	101	34
		22.5											17.4	106	39
		25.5					6120						19.6	113	44
		28.5											21.9	119	47
		31.5											24.4	123	57
16	A3	10.5	16	—	40	25	5920	5000	1290	180	43kg/m	2.303	9.99	113	20
		13.5											11.95	120	24
		16.5											13.97	124	29
		19.5											15.13	131	32
		22.5											17.35	136	37
		25.5					5970						20.7	144	45
		28.5											23.2	152	51
		31.5											26.75	162	60
	A5	10.5	16	—	63	40	6040	5000	1585	180	43kg/m	2.991	10.79	115	21
		13.5											12.75	122	25
		16.5											14.72	127	30
		19.5											15.88	132	32
		22.5											18.1	138	38
		25.5											21.45	147	46
		28.5											23.9	154	52
		31.5											27.45	165	60
	A6	10.5	16	—	80	40	6040	5000	1585	180	43kg/m	3.015	10.99	116	21
		13.5											12.95	123	26
		16.5											14.92	128	30
		19.5											16.1	133	33
		22.5											18.3	139	38
		25.5											21.65	148	46
		28.5					6120						24.1	155	52
		31.5											27.65	166	61

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	h	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
20	A3	10.5	16	—	40	25	5970	5000	1390	180	43kg/m	2.471	10.96	127	28.45
		13.5											12.47	135	31.67
		16.5											14.56	143	35.44
		19.5											16.58	149	39.47
		22.5											18.61	154	43.76
		25.5					6040		1500	205			22.2	163	52.12
		28.5											24.87	172	58.17
		31.5											29.24	187	68.54
	A5	10.5	16	—	63	40	6040	5000	1600	180	43kg/m	2.991	11.52	128	31.53
		13.5											13.37	137	33.69
		16.5											15.16	145	36.58
		19.5											17.12	152	40.34
		22.5											19.35	156	45.04
		25.5							1700	205			22.95	167	53.27
		28.5											25.6	174	59.31
		31.5											30.88	189	71.87
	A6	10.5	16	—	80	40	6040	5000	1640	180	43kg/m	5.011	13.93	138	37.02
		13.5											15.25	145	36.89
		16.5											17.79	153	40.96
		19.5											19.43	159	43.50
		22.5							1740	180	QU70		21.97	168	48.63
		25.5											25.73	177	57.01
		28.5											29.65	189	65.96
		31.5											34.98	202	78.48
32	A3	10.5	16	—	40	20	5970	5000	1740	205	QU80	3.175	13.62	187	44
		13.5											15.44	197	45
		16.5											17.49	205	48
		19.5											20.25	215	52
		22.5											23.42	225	59
		25.5					6540	5600					27.9	240	69
		28.5											34.22	258	83
		31.5											38.35	268	93
	A5	10.5	16	—	63	40	6040	5000	1810	205	QU80	5.011	15.05	196	46
		13.5											16.95	207	46
		16.5											19.23	215	49
		19.5											21.95	225	53
		22.5											25.22	235	60
		25.5					6620	5600					29.65	248	69
		28.5											35.87	264	84
		31.5											40.15	275	93
	A6	10.5	16	—	80	40	6870	5600	1990	180	QU80	8.696	19.08	210	50
		13.5											21.53	222	51
		16.5											23.86	232	53
		19.5											26.87	243	58
		22.5											30.25	254	64
		25.5											38.24	275	83
		28.5					7524	6200	2075	224			41.07	285	88
		31.5											47.53	302	103

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	h	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
50	A3	10.5	16	—	40	25	6074	5000	1900	224	QU80	5.011	18.9	283	66
		13.5											21.54	296	65
		16.5											24.59	309	68
		19.5					6744	5600					27.12	320	72
		22.5											32.25	336	82
		25.5											37.22	350	92
		28.5											42.08	364	103
		31.5											49.61	384	120
	A5	10.5	16	—	63	40	6744	5600	2180	224	QU80	9.614	23.55	298	75
		13.5											26.15	315	72
		16.5											29.13	326	75
		19.5											32.12	339	77
		22.5					7524	6200			QU100		37.82	356	88
		25.5											42.60	370	97
		28.5											47.53	384	108
		31.5											55.58	408	126
	A6	10.5	16	—	80	40	7524	6200	2310	224	QU100	16.218	31.28	330	91
		13.5											33.91	346	85
		16.5											37.01	360	85
		19.5											42.55	379	94
		22.5					7924	6600					47.41	394	102
		25.5											51.63	406	109
		28.5					8424	$W=7100$ $W_1=1300$	2555				60.63	219	64
		31.5											69.54	232	74

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)					轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	W_1	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
80	A3	16	20	—	40	20	8424	7100	1300	2350	224	QU100	9.952	36.85	244	52
		19												43.39	254	57
		22												48.10	263	61
		25												52.17	270	64
		28												61.18	285	74
		31												68.96	296	82
		34												75.31	305	89
	A5	16	20		63	32	9124	7900	1500	2650	224	QU100	16.748	49.93	264	66
		19												54.24	273	67
		22					9244							58.73	282	70
		25												63.99	290	74
		28												72.03	302	82
		31												79.61	310	90
		34												88.1	325	99
100	A3	16	20	—	40	20	9124	7900	1500	2650	224	QU100	16.748	47.25	302	68
		19												51.49	314	68
		22												58.4	328	73
		25												64.11	339	77
		28												71.45	350	84
		31												79.86	363	93
		34												88.29	375	102

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)					轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	W_1	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
125	A3	16	20	—	40	20	9124	7900	1500	2650	224	QU100	16.748	49.63	364	77
		19												55.97	377	79
		22												62.23	390	83
		25												71.18	405	90
		28												82.21	422	101
		31												90.69	434	110
		34												100.70	450	120

注：本系列可增设副起升机构。一般主、副起升机构起重量之比为1:4，也可由用户根据需要确定。如增设副起升机构，起重机总重和最大轮压 P_{max} 则比表中所列数值有所增加。

(3) 大连重工·起重集团有限公司 75/20～125/30t 吊钩起重机技术规格 2003 年

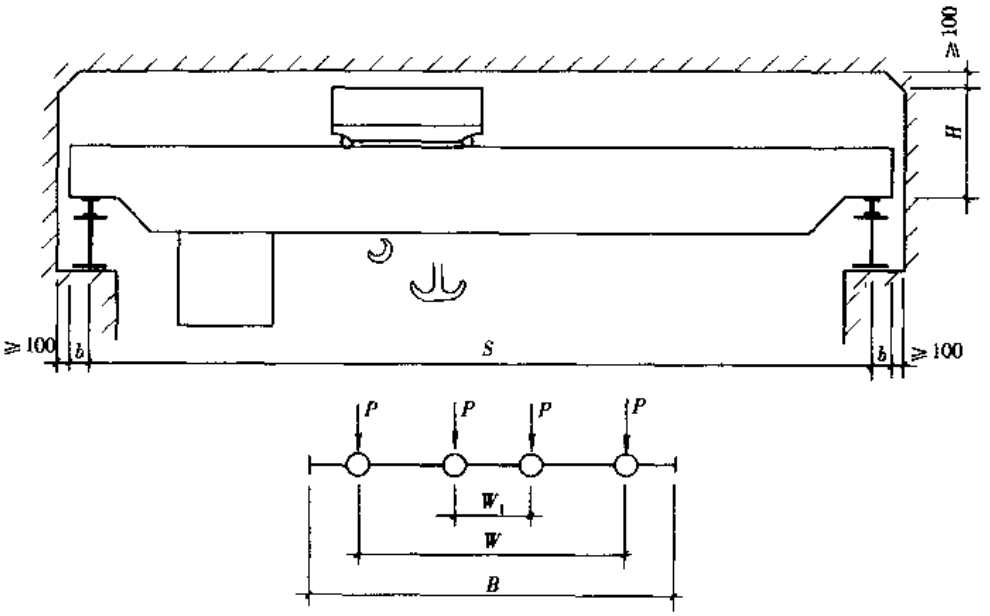


图 26-3　大连 75/20　125/30 吊车技术规格图

表 26-3

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)					轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	W_1	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
75/20	A3	13.5	20	22	33.2	12.3	9200	6100	2700	3252	300	QU100	23.964	56.202	266	49.1
		16.5												60.115	278	52.1
		19.5								3256				65.155	285	57.1
		22.5								3260				70.867	294	63.2
		25.5			30.3					3258				75.724	305	68.5
		28.5								3262				82.333	316	76.0
		31.5								3264				88.344	326	83.0

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)					轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	W_1	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
75/20	A5	13.5	20	22	77.6	38.4	9200	6100	2700	3252	300	QU100	27.668	61.878	274	53.0
		16.5												65.787	287	55.8
		19.5								3256				70.839	299	60.5
		22.5								3260				76.565	309	66.5
		25.5			66.2					3258				81.416	318	71.7
		28.5								3262				88.033	330	79.2
		31.5								3264				94.066	341	86.1
	A6	13.5			78.1					3254				63.731	286	54.8
		16.5												68.052	302	58.0
		19.5								3258				73.117	313	62.8
		22.5				38.4	9200	6100	2700	3262	300	QU100	28.225	78.986	324	69.0
		25.5			66.7					3260				83.859	334	74.1
		28.5								3264				90.866	346	82.1
		31.5								3266				96.634	355	88.6
	A3	13			33.2					3392				56.202	286	49.0
		16								3392				60.115	298	51.9
		19								3396				65.115	305	56.7
		22				12.3	9200	6100	2700	3400	300	QU100	24.501	70.867	314	63.0
		25			30.3					3398				75.724	325	68.0
		28								3402				82.333	336	75.6
		31								3404				88.344	346	82.5
80/20	A5	13			76.1					3392				61.878	294	52.7
		16								3392				65.787	307	55.2
		19								3396				70.839	319	59.9
		22				38.4	9200	6100	2700	3400	300	QU100	28.563	76.565	329	65.8
		25			65					3398				81.416	338	70.6
		28								3402				88.033	350	78.4
		31								3404				94.066	361	85.2
	A6	13			77.6					3394				63.731	306	54.5
		16								3394				68.052	322	57.5
		19								3398				73.117	333	62.2
		22				38.4	9200	6100	2700	3402	300	QU100	29.120	78.986	344	68.2
		25			66.2					3400				83.859	354	73.3
		28								3404				90.866	366	81.3
		31								3406				96.634	375	87.8
100/20	A5	13	22	22	64.9	33.9	9200	6100	2700	3360	310	QU120	32.363	68.863	337	59.5
		16								3362				73.209	350	62.0
		19								3364				78.243	364	66.3
		22								3370				85.540	378	73.9
		25			65.6					3370				90.198	389	78.5
		28								3372				97.362	401	86.5
		31								3374				107.83	412	98.6
	A6	13			66.2					3362				70.362	340	61.1
		16								3364				74.856	357	63.4
		19								3366				80.005	372	68.2
		22				33.9	9200	6100	2700	3372	310	QU120	32.616	87.459	387	76.0
		25			66.7					3372				92.309	398	80.9
		28								3374				99.655	411	88.9
		31								3378				111.91	428	103.5

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)					轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	W	W_1	H	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
100/30	A5	38.3	30	32	36.6	24.4	8428	6800	3200	4168	440	QU120	35	148.41	480.2	143.8
125/30	A5	22	20	22	77.3	42.8	9622	7500	3400	4000	400	QU120	37.1（单闸）	100.5（单闸）	441	88.0
													37.4（双闸）	100.8（双闸）		

(4) 大连重工·起重集团有限公司 150/30～400/80t 吊钩起重机技术规格 2003 年

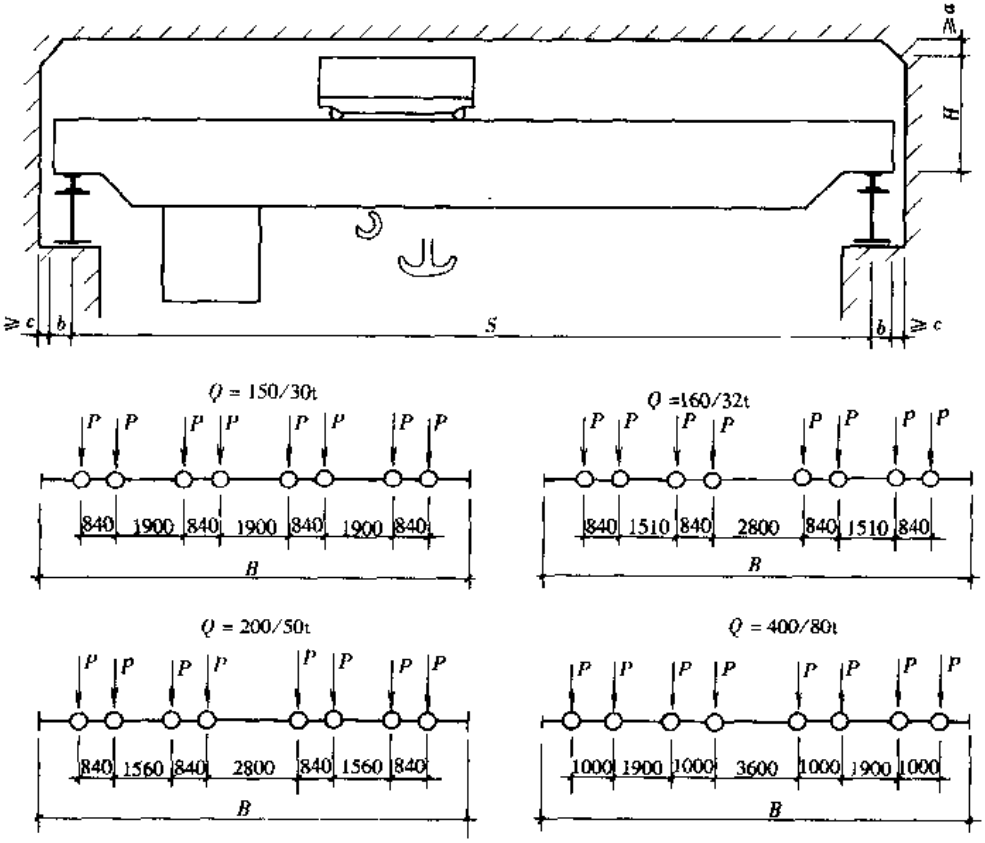


图 26-4　大连 150/30—400/80 吊车技术规格图

表 26-4

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)					轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	B	H	b	r	a		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
150/30	A5	28	22	24	67.4	28.6	11560	4402	400	100	100	QU120	46.6	151.5	288.12	68.7
160/32	A5	28	28	30	67.4	27.8	11527	4950	400	100	100	QU120	56.4	160.9	315.56	70.5
200/50	A5	28	22	26	67.4	27.7	11632	4948	400	100	150	QU120	63.2	178.1	373.38	77.6
	A6				72.4	29.8							66.5	183.3	378.28	79.1
400/80	A5	34	28	33	37.2	25.9	12800	6203	500	75	200	QU120	142.3	359.0	735.0	155.3

(5) 北京起重运输机械研究所 5～50/10t 吊钩起重机技术规格 2003 年

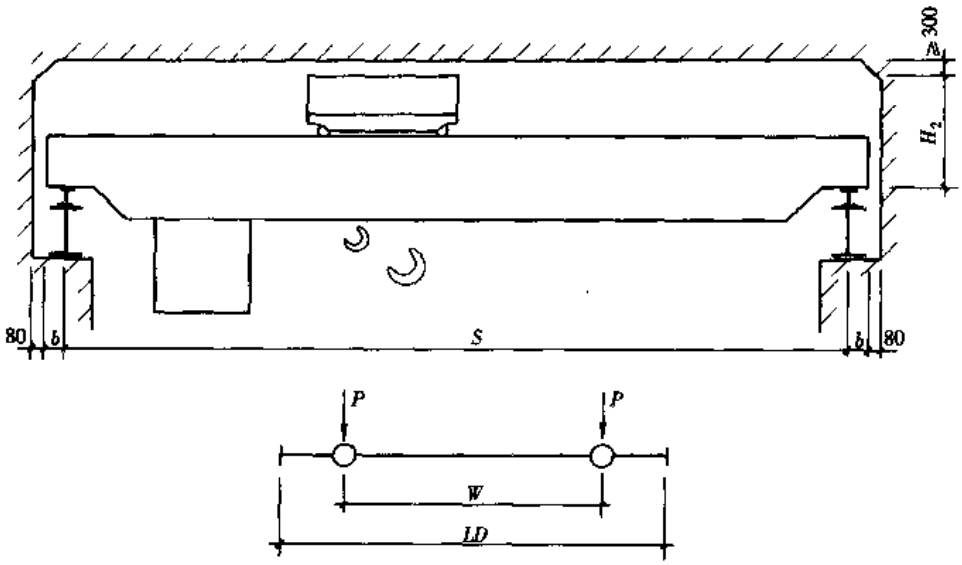


图 26-5 北京起重机研究所吊车技术规格表前图

表 26-5

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	LD	W	H_2	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
5	A5	10.5	16	18	89.1	42.5	5622	3850	2067	238	38kg/m	2.617	13.6	63.70	27.53
		13.5											15.1	68.60	29.99
		16.5											17.4	74.48	35.39
		19.5					5822	4100					19.4	80.36	39.32
		22.5											21.4	87.22	42.27
		25.5			91.3		6722	5000					25.2	96.04	52.09
		28.5											28.1	107.00	55.36
		31.5											30.9	115.64	60.45
	A6	10.5	16		116.9	42.5	3850	3850	2067	238	38kg/m	2.762	13.9	63.70	29.00
		13.5											15.3	68.60	30.97
		16.5											17.6	74.48	36.37
		19.5					4100	4100					19.6	80.36	40.30
		22.5											21.7	87.22	43.74
		25.5			118.1		5000	5000					25.6	96.04	54.05
		28.5											28.4	107.00	56.83
		31.5											31.2	115.64	61.92

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	LD	W	H_2	b		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
10	A5	10.5	16	18	89.1	40.1	5922	4000	2239	238	43kg/m	4.084	15.7	100.94	25.12
		13.5											17.5	106.82	28.07
		16.5											19.4	109.76	34.45
		19.5			91.3			4100					21.7	117.60	37.89
		22.5											23.9	127.40	38.88
		25.5			93.0		6922	5000		273			28.7	137.20	52.62
		28.5											31.6	147.00	57.05
		31.5											34.6	158.76	60.00
	A6	10.5	16	18	118.1	40.1	5922	4000	2239	238	43kg/m	4.234	16.1	100.94	27.08
		13.5											17.9	106.82	30.03
		16.5											19.9	109.76	36.90
		19.5						4100					22.1	117.60	39.85
		22.5											24.3	127.40	40.84
		25.5			116.9		6922	5000		273			29.3	137.20	55.57
		28.5											32.2	147.00	59.99
		31.5											35.2	158.76	62.95
16/3.2	A5	10.5	16	18	92.0	40.1	5922	4000	2336	273	43kg/m	6.765	20.4	142.10	36.44
		13.5											22.7	152.88	36.94
		16.5											24.0	156.80	39.40
		19.5			83.0		6322	4400		283			27.0	172.48	38.44
		22.5											29.4	183.26	39.43
		25.5			83.9		6922	5000					33.6	195.02	48.27
		28.5											36.7	205.80	52.69
		31.5											39.8	215.60	58.10
	A6	10.5	16	18	116.9	40.1	5922	4000	2336	273	43kg/m	6.987	21.2	142.10	40.37
		13.5											23.5	152.88	40.87
		16.5											25.1	156.80	44.80
		19.5			105.4		6322	4400		283			27.6	172.48	41.38
		22.5											30.6	183.26	45.31
		25.5					6922	5000					34.7	195.02	53.66
		28.5											37.8	205.80	58.09
		31.5											40.9	215.60	63.49
20/5	A5	10.5	12	14	93.0	40.1	5972	4000	2340	273	43kg/m	7.427	21.5	166.60	36.96
		13.5											23.8	176.40	38.44
		16.5											25.9	191.10	34.04
		19.5			83.9		6322	4400		283			29.6	202.86	40.43
		22.5											32.0	211.68	43.38
		25.5					6922	5000					37.0	224.42	55.17
		28.5											39.8	236.18	57.14
		31.5											43.2	246.96	63.04
	A6	10.5	12	14	116.9	40.1	5972	4000	2340	273	43kg/m	7.786	22.5	166.60	41.86
		13.5											24.8	176.40	43.34
		16.5											27.1	191.10	39.93
		19.5			105.4		6322	4400		283			30.3	202.86	43.86
		22.5											32.7	211.68	46.81
		25.5					6922	5000					37.7	224.42	58.60
		28.5											40.5	236.18	60.57
		31.5											43.9	246.96	66.47

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)		运行速度 (m/min)		基本尺寸 (mm)				轨道型号	重量 (t)		轮压 (kN)	
			主钩	副钩	大车	小车	LD	W	H_2	h		小车重	总重	P_{max}	P_{min}
32/8	A5	10.5	16	18	83.9	37.1	6562	4600	2542	283	QU70	12.012	27.8	225.40	67.92
		13.5							2546				31.1	245.98	63.53
		16.5											33.5	255.78	65.50
		19.5			75.0		6622	4800	2671	318			39.9	271.46	81.21
		22.5											42.4	281.26	83.67
		25.5			75.4		6642	5000					47.0	295.96	91.54
		28.5											50.5	305.76	98.90
		31.5											54.1	319.48	102.8
	A6	10.5	16	18	105.4	37.1	6562	4600	2542	283	QU70	12.466	28.7	225.40	72.33
		13.5							2546				32.0	245.98	67.94
		16.5											34.2	255.78	68.93
		19.5			95.0		6622	4800	2671	318			40.8	271.46	85.62
		22.5											43.3	281.26	88.09
		25.5			96.7		6642	5000					48.0	295.96	96.44
		28.5											51.5	305.76	103.8
		31.5											55.1	319.48	107.7
50/10	A5	10.5	12	14	75.4	36.9	6622	4700	2891	318	QU70	15.763	36.2	336.14	86.67
		13.5							2893				39.3	355.74	82.28
		16.5							2895				42.6	375.34	78.86
		19.5					6662	4800	2899				47.0	396.90	78.89
		22.5											51.2	406.70	89.69
		25.5			76.8		6622	5000					57.3	426.30	100.0
		28.5											61.9	437.1	111.3
		31.5											65.4	453.7	111.8
	A6	10.5	12	14	96.7	36.9	6622	4700	2891	318	QU80	16.554	37.3	336.14	92.07
		13.5							2893				40.4	355.74	87.67
		16.5							2895				43.7	375.34	84.26
		19.5			96.9		6662	4800	2899				48.1	396.90	84.28
		22.5											52.4	406.70	95.57
		25.5					6622	5000					60.8	426.30	117.1
		28.5											65.4	437.1	128.5
		31.5											68.9	453.7	129.0

(6) 北京起重运输机械研究所 1～10t 吊钩 LDB 型电动单梁起重机技术规格

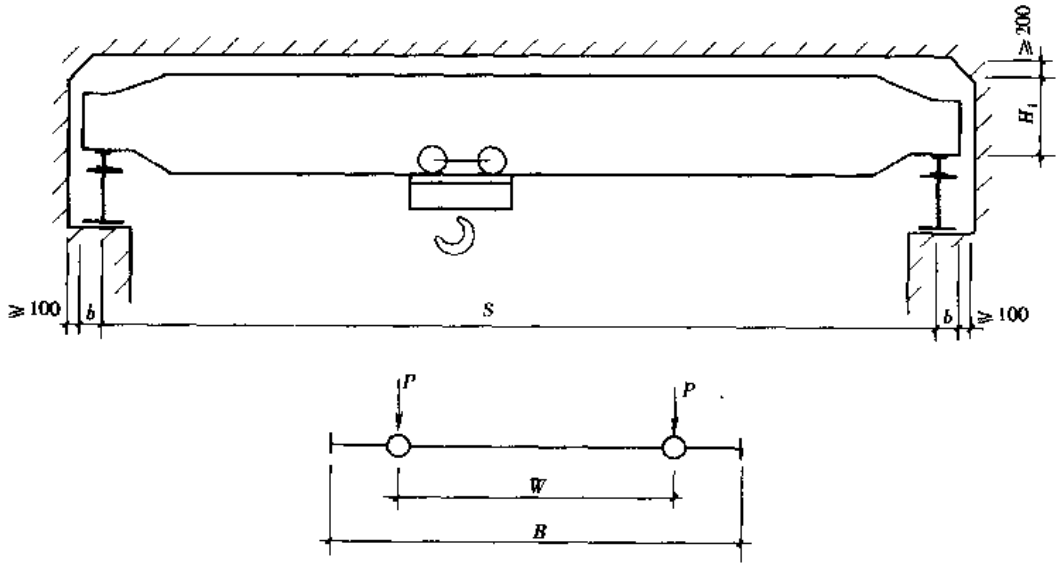


图 26-6　北京起重机研究所 LBD 型电动单梁吊车技术规格图

表 26-6

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)	运行速度 (m/min)	基本尺寸 (mm) B	W	H_1	b	轨道型号	总重量 (t)	轮压 (kN) P_{max}	P_{min}
1	A3～A5	7.5	12		2500	2000	490		38kg/m	1.7 (2.1)	11 (14)	2.24 (2.23)
		10.5								1.9 (2.3)	12 (15)	2.22 (2.21)
		13.5			3000	2500				2.2 (2.6)	12 (15)	3.70 (3.68)
		16.5								2.6 (3.0)	13 (16)	4.66 (4.64)
		19.5			3500	3000	530			3.0 (3.4)	14 (17)	5.62 (5.60)
		22.5					580			3.4 (3.8)	15 (18)	6.58 (6.56)
2	A3～A5	7.5	12		2500	2000	490		38kg/m	1.8 (2.2)	16 (19)	2.64 (2.62)
		10.5								2.1 (2.5)	17 (20)	3.11 (3.09)
		13.5			3000	2500				2.5 (2.9)	18 (21)	4.07 (4.05)
		16.5					580			2.9 (3.3)	19 (22)	5.03 (5.02)
		19.5			3500	3000	660			3.9 (4.3)	22 (25)	6.94 (6.92)
		22.5					790			4.7 (5.1)	24 (27)	8.86 (8.85)

续表

起重量 Q (t)	工作制度	跨度 S (m)	起升高度 (m)	运行速度 (m/min)	基本尺寸 (mm)				轨道型号	总重量 (t)	轮压 (kN)	
					B	W	H_1	b			P_{max}	P_{min}
3	A3 ~ A5	7.5	12		2500	2000	530		38kg/m	1.9 (2.3)	22 (25)	2.03 (2.02)
		10.5								2.2 (2.6)	22 (25)	3.51 (3.49)
		13.5			3000	2500	580			2.6 (3.0)	23 (26)	4.47 (4.45)
		16.5					660			3.5 (3.9)	26 (29)	5.88 (5.86)
		19.5			3500	3000	750			4.3 (4.7)	28 (31)	7.81 (7.79)
		22.5					820			4.8 (5.2)	29 (32)	9.26 (9.24)
5	A3 ~ A5	7.5	12		2500	2000	580		38kg/m	2.1 (2.5)	33 (36)	1.83 (1.81)
		10.5								2.5 (2.9)	34 (37)	2.79 (2.77)
		13.5			3000	2500	660			3.3 (3.7)	36 (39)	4.71 (4.69)
		16.5					790			4.0 (4.4)	38 (40)	6.15 (7.13)
		19.5			3500	3000	820			4.6 (5.0)	39 (42)	8.09 (8.07)
		22.5					880			5.7 (6.1)	42 (45)	10.48 (10.47)
10	A3 ~ A5	7.5	9，12	20，30	2500	2000	725	120	38kg/m	3.24 (3.71)	54.25 (58.90)	6.18 (6.47)
		10.5					800			3.88 (4.28)	58.86 (63.41)	7.46 (7.64)
		13.5			3000	2500	820			4.67 (5.05)	62.39 (65.95)	9.22 (9.41)
		16.5					875			5.42 (5.80)	66.41 (70.95)	10.98 (11.07)
		19.5			3500	3000	875			7.13 (7.50)	70.24 (74.77)	15.11 (15.19)
		22.5					975			8.84 (9.22)	74.95 (79.48)	19.23 (19.31)

注：表中总重量及轮压栏中，不带括号的数字用于地面操纵起重机，带括号的数字用于司机室操纵起重机。

参 考 文 献

1. 国家标准. 钢结构设计规范（GB 50017—2003）. 北京：中国计划出版社，2003

2. 国家标准. 冷弯薄壁型钢结构技术规范（GB 50018—2002）. 北京：中国计划出版社，2002

3. 国家标准. 建筑结构荷载规范（GB 50009—2001）. 北京：中国建筑工业出版社，2002

4. 国家标准. 建筑抗震设计规范（GB 50011—2001）. 北京：中国建筑工业出版社，2001

5. 中国工程建设标准化协会标准. 门式刚架轻型房屋钢结构技术规程（CECS102：2002）. 北京：中国计划出版社，2003

6. 国家标准. 钢结构工程施工质量验收规范（GB 50205—2001）. 北京：中国计划出版社，2001

7. 罗邦富，魏明钟等. 钢结构设计手册（GBJ 17—88 版）. 北京：中国建筑工业出版社，1992

8. 汪一骏，邱国桦等. 轻型钢结构设计手册. 北京：中国建筑工业出版社，1996

9. 汪一骏，张志平等. 网架结构设计手册. 北京：中国建筑工业出版社，1998

10. 汪一骏，冯东等. 轻型钢结构设计指南. 北京：中国建筑工业出版社，2000

11. 赵熙元，柴昶等. 建筑钢结构设计手册. 北京：冶金工业出版社，1995

12. 中国建筑标准设计研究所. 全国民用建筑工程设计技术措施·结构. 北京：中国计划出版社，2003

13. 章天恩，王茹等. 实用建筑结构设计手册（2 版）. 北京：机械工业出版社，2003

14. 压型钢板、夹芯板屋面及墙体建筑构造（01J925—1）. 北京：中国建筑标准设计研究所，2001

15. 国家建筑标准设计，发泡水泥复合板（02ZG710）. 北京：中国建筑标准设计研究所，2002